

# 高齢者のためのレジスタンストレーニング： 全米ストレングス&コンディショニング協 会のポジションステイトメント

## Resistance Training for Older Adults: Position Statement From the National Strength and Conditioning Association

Maren S. Fragala,<sup>1</sup> Eduardo L. Cadore,<sup>2</sup> Sandor Dorgo,<sup>3</sup> Mikel Izquierdo,<sup>4</sup>  
William J. Kraemer,<sup>5</sup> Mark D. Peterson,<sup>6</sup> Eric D. Ryan,<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Quest Diagnostics, Secaucus, New Jersey

<sup>2</sup> School of Physical Education, Physiotherapy and Dance, Exercise Research Laboratory, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil

<sup>3</sup> Department of Kinesiology, University of Texas at El Paso, El Paso, Texas

<sup>4</sup> Department of Health Sciences, Public University of Navarre, CIBER of Frailty and Healthy Aging (CIBERFES), Navarrabiomed, Pamplona, Navarre, Spain

<sup>5</sup> Department of Human Sciences, The Ohio State University, Columbus, Ohio

<sup>6</sup> Department of Physical Medicine and Rehabilitation, University of Michigan-Medicine, Ann Arbor, Michigan

<sup>7</sup> Department of Exercise and Sport Science, University of North Carolina-Chapel Hill, Chapel Hill, North Carolina

**【キーワード】** ストレングストレーニング：strength training、高齢者：elderly、フレイル：frail、中高年 seniors、  
エクササイズ：exercise、レジスタンスエクササイズ：resistance exercise

### 要約

たとえ慢性疾患のない場合でも、老化は骨格筋量の減少や筋力および筋機能の低下の原因となりうる様々な生物学的変化を伴う。このような衰えは生理学的な回復力を低下させ、危機的な傷害や疾病に対する脆弱性を増大させる。そのため、高齢者の健康と福祉のためには、予防と治療の両方の対策が必要である。このポジションステイトメントの目的は、最新の重要な研究の概要を提供し、高齢者のためのレジスタンストレーニングに関して、エビデンスに基づく推奨事項を提供することである。このポジションステイトメントに示されているように、最近の研究により、レジスタンストレーニングを通して筋の廃用に対抗することは、老化と戦う効果的な介入であることが明らかになっている。老化に伴う筋力と筋量の減少や生理学的脆弱性は、高齢者の身体機能、移動能力、自立性、慢性疾患の管理、心理的充足感および生活の質や健康寿命に悪影響を及ぼす。このポジションステイト

メントは、4つの領域で高齢者のレジスタンストレーニングの成功のための推奨事項とその裏付けとなるエビデンスを提供する。すなわち、(a)プログラムデザインの変数、(b)生理学的適応、(c)機能的利益、(d)フレイル、サルコペニアおよび他の慢性疾患に対する留意事項である。ポジションステイトメントの目的は、a)高齢者のレジスタンストレーニングに対するより統一的で総合的な方法の発展を支援すること、b)レジスタンストレーニングが高齢者の健康や機能にもたらす利益を促進すること、c)高齢者のレジスタンストレーニングプログラムの実施に対する懸念や障壁を取り除くか最小限に抑えることである。

## 要約報告(サマリーステートメント)

このポジションステートメントの目的は、最新の重要な研究を概説し、エクササイズプログラムの変数を評価し、高齢者のためのレジスタンストレーニングに対してエビデンスに基づく推奨事項を提供することである。最新研究は、レジスタンストレーニングを通して筋の廃用に対処することは、筋力の低下や筋量の減少(サルコペニア)と生理学的脆弱性(フレイル)、およびそれらが高齢者の身体機能、移動能力、自立性、慢性疾患の管理、心理的な充足感、生活の質などに及ぼす悪影響と戦う効果的な介入であることを示している。

高齢者の効果的なレジスタンストレーニングのために、4つの領域全体で11の要約報告が提示される。これらの推奨事項の目的は、a) 高齢者のレジスタンストレーニングに対するより統一的で総合的な方法の発展を助けること、b) レジスタンストレーニングが高齢者の健康や機能にもたらす利益を促進すること、c) 高齢者のレジスタンストレーニングプログラムの実施に対する懸念や障壁を取り除くか最小限に抑えることである。

### 第1部:レジスタンストレーニングプログラムの変数

1. エクササイズテクニックに対する適切な指導と適切な補助があれば、適切に作成されたレジスタンストレーニングプログラムは健康な高齢者にとって安全である。
2. 高齢者のためのレジスタンストレーニングプログラムを適切に作成するには、個人に合わせて調節し、期分け(ピリオダイゼーション)を取り入れる。大筋群ごとに1~2種目の多関節エクササイズを2~3セット行ない、1RM(最大挙上重量)の70~85%の強度で週2~3回実施するが、短縮性の運動を高速で行なう中強度(40~60% 1RM)のパワーエクササイズも取り入れる必要がある。
3. 高齢者のためのレジスタンストレーニングプログラムは、個別化とピリオダイゼーションおよび漸進性の原理に従うことが必要である。

### 第2部:高齢者におけるレジスタンストレーニングに対する有益な生理学的適応

4. 適切に作成されたレジスタンストレーニングプログラムは、老化に伴う筋の収縮機能の変化や萎縮、ヒトの骨格筋の形態の変化に対抗できる。
5. 適切に作成されたトレーニングプログラムは、高齢者の筋力やパワーおよび神経筋の機能を促進できる。
6. 高齢者におけるレジスタンストレーニングへの適応は、トレーニングに対する神経筋の適応および神経内分泌系とホルモンの応答を介して生じる。

### 第3部:高齢者のためのレジスタンストレーニングの機能的利益

7. 適切に作成されたレジスタンストレーニングプログラムは、移動能力、身体機能、日常生活動作(ADL)のパフォーマンスを改善し、高齢者の自立性を維持できる。
8. 適切に作成されたレジスタンストレーニングプログラムは、傷害および転倒などの重大事象に対する高齢者の抵抗力を向上させることができる。
9. 適切に作成されたレジスタンストレーニングプログラムは、高齢者の心理社会的健康の増進に役立つ。

### 第4部:フレイル、サルコペニア、その他の慢性疾患に対する配慮

10. レジスタンストレーニングプログラムは、フレイル、移動能力制限、認知障害その他の慢性症状のある高齢者に合わせて調節できる。
11. レジスタンストレーニングプログラムは、生活支援施設や高度看護施設等に入所している高齢者に対応して調節できる(持ち運び自由なトレーニング器具や座位で行なうエクササイズを選択するなど)。

## 序論

### 老化が骨格筋と筋力に及ぼす影響

老化は、たとえ慢性疾患がない場合でも、骨格筋量や筋力および筋機能の低下の原因となる様々な生理学的変化を伴う。生理学的回復力(ストレスに耐えて回復する能力)の総合的な低下と危機的な事象に対する脆弱性をもたらす(35)。複雑で多面的な老化現象は、生涯を通じて個人ごとに現れ方が異なり、遺伝、環境、行動習慣、人口動態の特徴などの相互作用によって様々な条件づけられる(52)。死亡率の低下と寿命が延びたことによる高齢者人口(歴年齢65歳以上と定義されることが多い)の増加は、慢性疾患の罹患率の増加と多様化をもたらした(49)。このような増加は、米国において、老化に伴う移動能力障害をもたらし、障害のない健康な年月が大きく減少している(32,233,649)。たとえ健康に(疾病のない状態で)年を重ねたとしても、生理学的な回復力の低下からしばしば身体障害、移動能力障害、転倒が起り、自立性や生活の質の低下をもたらす(638)。例えば心臓血管系や代謝系の疾患など、老化に伴って発症することの多い慢性疾患は、そのような症状に対する脆弱性を悪化させ、生理学的回復力を失わせる。

老化に伴う筋量の減少(元来サルコペニアと呼ばれた)(395,519)は、60歳以上の高齢者では有病率が10%と推定されているが(538)、80歳以上では50%に上る(39)。この有病率は地域で暮らす在宅高齢者のほうが、生活支援施設や高度看護施設で暮らす高齢者よりも低い(139)。通常、筋量

は徐々に減少し、30歳を過ぎるころから減り始め、60歳以降は減少が加速する(413)。これまでに行なわれた長期的研究では(199,225)、下肢の筋量は毎年1.0～1.4%ずつ減少し、上肢に関して報告された減少率(207,298)より大きいことが示唆される。サルコペニアは、高齢者集団における筋力低下(200,494)や障害および疾病の因果経路の一部と考えられる(518)。しかし、筋力の低下は死亡率や身体障害のどちらとも高い相関関係があり、サルコペニアを加味した場合でさえ、筋量の減少は筋力の低下の影響に比べれば二次的であることが示唆される(124)。

老化に伴う筋量の減少は機能的能力の低下の原因となるが、その大部分は筋力の低下を介して起こる(409,456,632)。老化に伴う筋力の低下率は、筋量の低下よりも2～5倍大きい(155)。したがって、臨床的な老化に伴う障害と早期死亡のバイオマーカーに該当する筋力低下の閾値(男性の握力<26kg、女性の握力<16kg)が定められている(14)。これらの閾値は、偶発的な移動能力制限や死亡率と強く関係づけられることが明らかになっている(409)。さらに、欧州の高齢者におけるサルコペニアに関する特別研究班は、サルコペニアの重要な特性として筋力が低いことに焦点を合わせ、サルコペニアの診断を確実にするために、筋量の減少と筋機能の低下を検査するように推奨事項を更新した(138)。これらの関連を考慮し、握力(総合的な筋力の確実な代理指標)は(192)、「老化のバイオマーカー」と名付けられている(526)。特異的な力とパワーの減少が観察されるため、筋力の低下は機能的能力としての課題と解釈されると思われる(155,225,292,412)。ADLを遂行する能力において、筋パワーの低下は筋力よりさらに重要であることが示されている(37,292)。その上、糖尿病(469)や身体障害(407,409)、認知能力の低下(13,74,85,590)や骨粗鬆症(406)、および全死因による早期死亡(367,409,470,653)など、老化に伴い健康に生じる結果と筋力の低下とを結びつける多数のエビデンスがある。

骨格筋量や筋力および筋機能に起こる老化に伴う変化は、廃用、タンパク質合成障害、慢性炎症など、様々なメカニズムに原因があると思われる。筋の廃用に関しては、身体的に不活発な人は、米国公衆衛生局長官が推奨する身体活動基準を満たしている人に比べ、将来の移動能力制限のリスクが2倍になることが明らかになった(634)。さらに、複数の研究により、タンパク質合成の減少と高齢化に伴う筋の同化作用の低下が証明されている(145,247,253,325,511,628,640)。タンパク質合成の減少は、筋の収縮機能、筋力、およびタンパク質の質を低下させる(26,123,253)。老化による低レベルの慢性炎症(炎症老化：インフラメージング)が、高齢者の疾病率と死亡率の両方にとって強力な危険因子であること(193)、また老化に伴

う脂肪蓄積と代謝調節異常の増加は、サルコペニアや筋力低下と結び付く強力なメカニズムを意味する可能性がある(41,311)。

### 老化と廃用に対抗するためのレジスタンストレーニング

老化が身体にもたらす望ましくない結果を考えると、高齢者の健康と幸福な暮らしのためには、予防と治療の両方の対策が必要である。老化の原因となる因子の中で、筋の廃用は予防可能で老化のプロセスを逆行させることも可能な因子である。レジスタンストレーニングによって筋を「使用」することは、筋力の低下と身体的フレイルを打ち消す実行可能で効果的な方法であることが一貫して示されている(184)。レジスタンスエクササイズは、老化に伴う筋内脂肪浸潤を減らし(223)、身体パフォーマンスを改善し(61,242)、筋線維の横断面積を増やし(242)、筋機能を高める(174,184,223)。さらに高齢者の骨密度を高め(397)、代謝能力とインスリン感受性を改善し(146)、さらに、長期的な健康状態の管理(268)、生活の質の改善(152)、心理的な健康状態の維持(108,119,660)、自立した生活の延長(567)、そして転倒や骨折の危険性の低下に寄与する(553)ことも明らかになっている。さらに、レジスタンスエクササイズは骨格筋の代謝能力を向上させるが、それは、グルコースのホメオスタシスを改善し、筋内の脂肪の蓄積を防ぐことにより、またアミノ酸の取り込みとタンパク質合成を促し、酸化系と解糖系の両酵素の働きを高め、タンパク同化/異化環境をホルモンの分泌により同化作用へと推移させる(173,304,364)ことにより行なわれる。

有酸素性トレーニングは健康と身体能力に与える広く知られたプラスの効果があるが、レジスタンストレーニングは、有酸素性トレーニングの効果を補完する総合的なエクササイズプログラムにとって重要な要素であると思われる(480,541)。レジスタンストレーニングが神経筋機能と機能的能力に対する老化の影響を軽減できるという有力なエビデンスがある(66,88,91,465,553,573)。様々な形式のレジスタンストレーニングが筋力と筋量およびパワーを向上させる可能性がある(243,291)。エビデンスから量-反応関係は明らかであり、エクササイズの量と強度は、レジスタンストレーニングに対する適応と強い相関がある(573)。さらに、長期にわたるレジスタンストレーニングは、骨密度を高め、腹部脂肪や内臓脂肪を減少させる(142,438,539,543,643)。2型糖尿病の成人において、レジスタンストレーニングが有酸素性トレーニングよりもヘモグロビンA1c(HbA1c)を低下させる(87)。これらの理由により、レジスタンストレーニングはしばしば「薬」とみなされる(542,643)。

レジスタンストレーニングのすでに知られた利益にもかかわらず、アメリカの高齢者(75歳以上)のうち、余暇の



一部として筋力を強化する活動に参加しているのはわずか8.7%だけである(570)。高齢者にとって、レジスタンストレーニングへの参加の障壁となっているのは、安全性、不安感、健康上の懸念、疼痛、疲労、および社会的支援の不足などである(86)。参加率の低さと一方の幅広い健康上の利益が示しているのは、高齢者が安全かつ有益にレジスタンストレーニングを生活に取り入れるために、高齢者のためのレジスタンストレーニングに関する、エビデンスに基づくガイドラインと提案の必要性である。

定期的に(週2～3回)、適切な強度(70～85% 1RM)と量(各エクササイズを2～3セット)のレジスタンストレーニングをピリオダイゼーションにより実施すれば、健康な高齢者にも、また慢性症状のある高齢者にも、好ましい神経筋適応をもたらす。これらの適応は、特に、パワートレーニングが含まれている際には、ADLの機能的向上にも変換される。さらに、レジスタンストレーニングは、バランスを改善し、骨密度を維持し、自立性や活力を維持し、心臓病、関節炎、2型糖尿病と骨粗鬆症など、多くの慢性疾患の危険性を低下させ、同時に心理的、認知的な利益も高める。

## 作成手順

我々著者は、エビデンスに基づく実践的方法を用いて、科学的エビデンスや専門知識、さらにエンドユーザーの意見を統合して、高齢者の関心や価値観、ニーズおよび選択に応えるための推奨事項を作成した。関連エビデンスに基づく実践的方法の重要な段階には以下が含まれる。(a)各声明を仮説として組み立てる、(b)エビデンスを収集する、(c)エビデンスを評価する、(d)エビデンスと実践的局面を統合する、そして(e)エビデンスに基づいてそれぞれの推奨事項を作成する(21)。エビデンスは様々に異なる研究方法から引き出されたため、いかなる方法も、理想的に、すべての既存の科学的エビデンスの強度を評価するには適さない(642)。したがって、このポジションステイトメントでは、研究文献の広範囲なレビューを用いて、発表された主要な関連研究の批判的レビューを提供するが(610)、それらの研究は以下の定められた対象基準に従って選択された。暦年齢の近い高齢者間でも幅広い生物学的な変動があり、また、骨格筋の老化に伴う変化は大概中年のころに始まるので、暦年齢に基づく「高齢」の標準的定義は適切とはみなされなかった。その代わりに、幅広い生理学的、機能的な多様性と年齢に関連づけられた骨格筋の影響を考慮し、研究には50歳以上の被験者が含まれている。

## 研究文献の選択対象基準

1. 論文全文の公表(抄録のみは不可)

2. 査読を経た後に公表
3. 出版年(1965～2018)
4. 英語による出版
5. 被験者は50歳以上
6. 介入群のランダムな振り分け
7. コントロール群の存在
8. 測定に用いた方法の有効性

## 要約報告のためのエビデンス

### 第1部:レジスタンストレーニングプログラムの変数

エクササイズテクニックに対する適切な指導と適切な補助があれば、適切に作成されたレジスタンストレーニングプログラムは健康な高齢者にとって安全である。研究と臨床の両方の経験から、健康な高齢の成人にとっても(404)、またフレイルの高齢者にとっても(94,621)、さらに疾病を抱える高齢者にとっても(404)、レジスタンストレーニングが安全であることが示唆される。レジスタンストレーニングの効果に関する系統的レビューによると、身体的に虚弱な最も高齢の被験者(70～92歳)を対象とした20件の研究において、2,544名の被験者のうちわずか1名がレジスタンストレーニングによる肩の痛みを訴えたことが報告された(96)。他方、レジスタンストレーニングに関連した若干の傷害例が高齢被験者の間で報告されたが、それは主にトレーニングの未経験者であった。傷害は主として、重い負荷を用いた反復的な作業負荷、好ましくない姿勢や誤ったテクニックまたはエクササイズの実行などが組み合わさったことと関連がある(563)。股関節や膝関節および脊椎構造と並んで、肩関節複合体は傷害を負いやすいため、特別な注意を払う必要がある(334,361)。安全性を維持するために適切なプログラムデザインが必要であり、高齢者に特異的な症状に伴う危険性を減じるために、一部の高齢者集団に対しては、レジスタンストレーニングにおいて特別な注意と配慮が必要である。例えば、管理不良な高血圧のある高齢者のためのエクササイズ処方では、レジスタンストレーニングで起こりうる急激な血圧の上昇を考慮すべきである。有酸素性トレーニングと同様、レジスタンストレーニングに伴う心臓血管系の危険性は年齢とともに上昇すると思われる、その危険性はトレーニング習慣や身体活動、体力レベルやトレーニング強度に依存している(647)。興味深いことに、レジスタンストレーニングは有酸素性エクササイズよりも心拍数が低く、心筋の(拡張期)灌流圧が高いため、結果的に心筋の酸素の供給と需要により良好なバランスをもたらすことを示唆するエビデンスがある(179)。レジスタンスエクササイズと有酸素性エクササイズの両様式は、それぞれ神経筋系と心臓血管系の機能の向上に明らかな利益をもたらすので、レジスタンストレーニングは有酸素性トレーニ

ングと組み合わせて処方する必要があり(91)、高齢者において筋力と有酸素性能力はどちらも、高齢者の全死因死亡率と逆相関関係がある(521)。

失敗するまで短縮性筋活動を行なうレジスタンストレーニングに参加することは、血圧、心拍数、心拍出量の著しい増加を引き起こすだろう(404)。したがって、この種のレジスタンストレーニングの方法は、管理不良な高血圧のある高齢者では避けるべきである。管理が良好な高血圧の高齢者では、レジスタンストレーニングは通常安全であること、またトレーニングが高血圧の管理に役立つことが研究により裏付けられている(217,227)。高血圧が管理され、エクササイズに先だって医師の診察を受けて許可を得ていれば、レジスタンストレーニングは安全である。事前に医師の診察を受けた20～69歳の健康な被験者26,000名以上(全員の安静時血圧<160/90 mmHG)を対象とした研究では(227)、1RM筋力テストにおいて重要な心臓血管系の事象は報告されなかった。

安全性が報告されているにもかかわらず、医学的なスクリーニングは、レジスタンストレーニングの適切性の評価に役立てることができ、危険性が高いと思われる症状の不安定な高齢者を特定できる可能性がある。バルサルバ法を行なうと、血圧が急上昇する危険性があるため、レジスタンストレーニングには、若干の絶対的または相対的な禁忌が存在する。絶対的な禁忌には、不安定な冠状動脈疾患(CHD: coronary heart disease)、非代償性心不全、管理不良の不整脈、重度の肺高血圧症(平均肺動脈圧>55 mmHg)、重度の症状のある大動脈弁狭窄症、急性の心筋炎、心内膜炎、心膜炎、管理不良の高血圧症(>180/110 mmHg)、大動脈解離、マルファン症候群などが含まれ、高強度のレジスタンストレーニング(80～100% 1RM)は、活動性増殖性網膜症または中程度か悪性の非増殖性糖尿病性網膜症の患者では絶対禁忌である。相対的禁忌(参加前に医師の診断が必要である)は、冠状動脈性心疾患の主要な危険因子やあらゆる年齢の糖尿病、管理不良の高血圧(収縮時血圧>160 mmHGおよび/または拡張期血圧>100 mmHg)、機能的能力の低下(<4代謝当量)、筋骨格系の制限、ペースメーカーまたは除細動器を移植している人などが含まれる(110,217,644)。激しい高強度のエクササイズを試す前に、低強度から中強度までエクササイズを漸進させることにより、エクササイズ耐性のより効果的な評価が可能になる。さらに、トレーニング強度と漸進は参加者それぞれのトレーニング経験を考慮して個別に設定することが必要である。レジスタンスエクササイズは安全であることに加えて、複数の併存疾患のために患者に処方される一般的な投薬によって起こる、望ましくない潜在的副作用も比較的起こりにくい(90)。関節痛や変形性関節症(OA: osteoarthritis)、その他の原因に

よる不安定性に関しては、特に注意が必要である。これらの症状には、同じ筋群を鍛えるために別の方法が必要であり、様々なエクササイズ種目(例えば膝関節のOAでは、スクワットよりむしろレッグプレスを用いる)を取り入れて、より低強度で、異なる種類の収縮活動や(一時的または恒常的な)可動域の縮小などを検討すべきである。疼痛と臨床症状の悪化を避けるために、これらすべての対策を適用しなければならない(392,442)。

高齢者のためのレジスタンストレーニングプログラムを適切に作成するには、個人に合わせて調節し、期分け(ピリオダイゼーション)を取り入れる。大筋群ごとに1～2種目の多関節エクササイズを2～3セット行ない、1RM(最大挙上重量)の70～85%の強度で週2～3回実施するが、短縮性の運動を高速で行なう中強度(40～60% 1RM)のパワーエクササイズも取り入れる必要がある。

#### 強度(表1)

レジスタンストレーニングの強度は、従来、最大の動的筋力(1RM)に相対的なトレーニング負荷として(割合または絶対値で)定義される(16,18)。いくつかの独自研究によると、中～高強度のレジスタンストレーニング(>70%)により、中強度のレジスタンストレーニング(51～69% 1RM)と同様の筋力の増大が明らかになった(78,629)。とはいえ、メタ分析と系統的レビューによると、高強度のレジスタンストレーニングの筋力に対する効果は、中強度および低強度のレジスタンストレーニングより大きいこと、また、フレイルな高齢者においてさえ(621)、中強度のレジスタンストレーニングのほうが低強度のレジスタンストレーニングよりも筋力が大きく増大することが示唆された(66,465,553,573)。生理学的には、ヒトの運動単位は強度や負荷に応じて活性化するため、「サイズの原理」に従って、運動神経細胞の大きさ順で動員される(148,169)。

Steibら(573)は、22の論文を含むメタ分析を行ない、高齢者(年齢65歳と80歳)の筋力とパフォーマンスの機能的テストに対する様々なレジスタンストレーニングプロトコル(直接的な量-反応調査)の効果を比較した。著者らは、強度75% 1RM以上では、中強度(55～75% 1RM)または低強度(55% 1RM以下)よりも、最大筋力の増大に大きな効果が達成されたと述べた。さらに、中強度(55～75% 1RM)は低強度(55% 1RM以下)よりも最大筋力に対するより大きな効果が認められた(573)。このメタ分析には、機能テストに関して異なる強度を比較した研究は3件しか含まれておらず、機能的成果に関しては、様々なトレーニング間の差は観察されなかった(573)。さらに、非活動的な高齢者(平均年齢65歳以上)におけるレジスタンストレーニングの効

表1 健康な高齢者に推奨される一般的レジスタンストレーニング<sup>†</sup>

プログラム変数	推奨	詳細
セット数	各筋群、各エクササイズを1～3セット	初心者とフレイルの高齢者は各エクササイズを1セットから開始し、複数セット(2～3)へ漸進。
レップ数	8～12または10～15	健康な高齢者の筋力向上のために、変化をつけて6～12レップ。初心者は相対的低強度で10～15レップ行なう。
強度	70～85% 1RM	耐えうる負荷から開始し、ピリオダイゼーションを用いて70～85% 1RMまで漸進。初心者、フレイルの高齢者、または心血管系疾患や骨粗鬆症など特別な配慮が必要な高齢者は軽めの負荷を推奨。エクササイズはレップ範囲の強度を守り、関節へのストレスを減らすため、失敗するまで行なうことは避ける。
エクササイズの選択	8～10種目	多関節運動により、目的の大筋群のエクササイズを取り入れる(チェストプレス、ショルダープレス、トライセップスエクステンション、バイセップスカール、プルダウン、ロウイング、ローバックエクステンション、アブドミナルクランチ/カールアップ、レッグエクステンションまたはレッグカール、カーフレイズなど)
様式	フリーウェイトまたはマシーン	初心者、フレイルの高齢者、機能的制限のある高齢者は、マシーンによるレジスタンストレーニング(重量設定可能なマシーンまたは空圧負荷マシーン)やレジスタンスバンドを用いたトレーニングおよびアイソメトリックトレーニングなどから利益を得られる。機能的能力の高い高齢者はフリーウェイト(バーベル、ダンベル、ケトルベル、メディシンボールなど)のレジスタンストレーニングからさらに有益な効果を得られる。
頻度	各筋群、週2～3回	各筋群に対し、休息日を挟んで週2～3回行なえば、好ましい適応、向上、維持が可能。
パワー/爆発的トレーニング	40～60% 1RM	短縮性局面で高速運動を行なう、パワー/爆発的エクササイズを取り入れる。中強度(40～60% 1RM)で行ない、筋パワー、筋力、筋サイズ、機能的な課題を促進する。
機能的動作	日常生活動作を模倣	健康で機能的能力の高い高齢者は、多関節の複雑で動的な動作を含めることから利益を得る。基底面と姿勢に変化をつける。

RM=最大挙上重量

<sup>†</sup>: 一般的なガイドライン。レジスタンストレーニングプログラムは、強度とプログラム変数のバリエーションを取り入れる。筋力の増大を最適化するために、同時トレーニングセッション中は、ストレングストレーニングを持続系トレーニングの前に行なう。

果を調査した25件のランダム化臨床試験(RCT: randomized clinical trial)を含めたメタ分析では、70～79% 1RMの強度は低強度よりも筋力に対しより大きな効果を誘発したことが明らかになった(群間の標準平均差[SMD]=1.89)(66)。

しかし、筋形態(サイズと形)に対するレジスタンストレーニングの効果を評価すると、同様の結果は観察されなかった。中強度の51～69% 1RM(分析に含まれた9件の研究のSMD=0.43)は、低強度や高強度よりも大きな効果をもたらした(66)。Petersenら(465)は、高齢の被験者(大多数の研究の平均年齢が60～75歳)において、下半身と上半身の筋力に対するレジスタンストレーニングの効果を調査した47件の研究を含めたメタ分析を行なった。これらの著者は、筋力の向上に有意に関連がある研究間の予測値はトレーニング強度だけである(下位集団において、強度の漸進的増加が最大筋力を5.3%増加させた)ことを観察した(465)。さらに、高強度(80% 1RMまで漸進)と低～中強度(強度は60% 1RMまで漸進)のレジスタンストレーニングの効果を比較したメタ分析においてCsapoら(140)は、筋力の増加が、高強度では43%、低～中強度では35%であったこと、また筋サイズの平均増加はそれぞれ11%と9%であったことを明らかにした(平均年齢67歳で、15件のうちの2件だけに50～60歳の被験者が含まれていた)。

要するに、60歳以上の健康な高齢者において筋力の増

大を最適化するためには、ピリオダイゼーションの期間中に70～85% 1RMのトレーニング強度を達成する必要がある。筋形態と機能的なパフォーマンスの変化も同様に、低～中強度(50～70% 1RM)で達成される。ピリオダイゼーションを行なっても行なわなくても、レジスタンストレーニングプログラムは神経筋適応を引き起こす可能性があるが、強度を最大85% 1RMまで漸進させるピリオダイゼーションプログラムにおいて、より低い(ときにはより高い)強度を用いることは、トレーニングに変化を与え、退屈さを防ぎ、トレーニング適応を促進できるだろう。

## 量

トレーニング量は、あるトレーニングセッション中に挙上した総重量を意味する(449)。具体的には、量-負荷とは、合計セット数にセット当たりのレップ数を乗じて、その数に1レップ当たりの挙上重量を乗じた値である(449)。この節では、筋力と筋サイズを最適化するために、最も効果的なエクササイズごとのセット数、レップ数、および緊張持続時間に関するエビデンスを提供する。

レジスタンストレーニングの初期段階では、エクササイズごとのセット数は、高齢者における筋力の増加をもたらす主要な変数であるとは思われない。短いトレーニング期間(6～12週間)中の1～3セットを比較した際、高齢



の女性において、どのセット数でも同様の結果が示された(6,486)。しかし、さらに長いレジスタンストレーニング期間では、3セットに有利な結果が観察された(209,486)。

高齢の被験者の除脂肪体重に対するレジスタンストレーニングの効果を調査したメタ分析の結果から、セッション当たりのセット数が多いほうが、除脂肪体重の大きな増加と相関することが示された(465)。さらに、Bordeらによるメタ分析(66)では、エクササイズごと2~3セットと7~9レップが、筋力と筋形態に対する最大の効果をもたらした(筋力の平均SMDはそれぞれ2.99と1.98、筋形態は0.78と0.49)。さらにメタ回帰分析によると、中程度の量(セット数とレップ数の積と定義)(24レップ)が少量(<24レップ)や多量(>24レップ)よりも筋パワーを増大させたことが明らかになった(580)。レップ数は%1RMにより強く規定されるため、少ないレップ数ではより高強度のトレーニング強度が用いられたことにより、筋力に大きな利益をもたらした可能性がある。とはいえ、失敗するまでレップを行なうことは、必ずしも追加的な生理的適応を促進するわけではない(92,141)。通常、最大反復回数の50~70%を良いフォームで行なえば、悪いフォームや傷害を避けながら、神経筋系の向上を引き出すのに十分である。

要するに、最大筋力と筋サイズの一層の増大を促進するためには、各筋群に対し、50~85%1RMで6~12レップを2~3セットを処方する。レップ数は用いる強度(負荷)に依存しているが、神経筋の適応の最適化には、失敗するまで反復する必要はないことを考慮して、適切に調整する必要がある。各大筋群のために1種目の多関節エクササイズを処方する必要がある。ただし下肢に関しては、2種目のエクササイズ(レッグプレスとニーエクステンション)を用いれば、より良い反応が期待できる(141)。

## 頻度

トレーニング頻度は、1週間に各筋群に対して行なったレジスタンストレーニングのセッション数を表す。Steibらによるメタ分析(573)には、トレーニング頻度を分析した2件のランダム化比較試験が含まれており、週2回のトレーニングは週1回のトレーニングより高いSMDを生じ(群間SMD=1.55)(160)、週3回のトレーニングは週1回のトレーニングよりも最大筋力に関してより高いSMD(群間SMD=2.57)を達成した(589)。Bordeらによるメタ分析(66)では、2~3回のセッションは筋力の測定値により大きな効果をもたらした(週2~3回の介入群とコントロール群間でそれぞれSMD=2.13と1.49)。さらに、週2~3セッションでは筋サイズの増大も生じた(66)。注目すべきは、メタ分析に含まれている9件のランダム化比較試験のうち8件が、レジスタンストレーニングの筋量に対する影響を週3回のトレーニング

頻度を用いて調査したことである。

要するに、高齢者において、筋群ごと週2~3回のトレーニング頻度が、筋力と骨格筋サイズに最大限の増大をもたらす最適な刺激を提供する。

## 動作のスピードとパワー

短縮性局面において最大速度で行なうレジスタンストレーニング(筋が短時間に最大筋力を発揮する爆発的レジスタンストレーニング)は、高齢者において、遅い速度で行なうレジスタンストレーニングよりも、機能的能力のより大きな向上を促進すると思われる(71,488)。これはADLを行なう能力を反映しているが、ADLは、最大筋力を発揮する能力以上に、より素早く筋力を発揮する能力に依存していると思われる(105,245,291,500)。

高齢者において、爆発的なレジスタンストレーニングと伝統的なレジスタンストレーニングを比較して、より大きな機能的向上を明らかにした研究がいくつかある(44,71,416,488)。Steibらによるメタ分析(573)では、椅子から立ち上がるパフォーマンスの改善では、爆発的なレジスタンストレーニングは伝統的なレジスタンストレーニングより効果的であり(SND=1.27)、踏み台昇降の能力ではやや効果的であった(SMD=1.74)。一方、歩行速度やTUG(timed up and go)テスト、および最大筋力では、レジスタンストレーニングの様式間の差は認められなかった。予想通り、爆発的なトレーニングは、伝統的なレジスタンストレーニングよりも最大パワーに大きな増加をもたらした(SMD=1.66)。

より最近では、Straightら(580)が行なったメタ分析には、下半身の筋力を評価する12件のRCTが含まれている(12件のRCTの中で1件だけが60歳より若い被験者が含まれていた)。この著者らは、下半身の筋パワー増大のためには、爆発的なレジスタンストレーニングが伝統的なレジスタンストレーニングより効果的であったことを明らかにした。興味深いことに、下半身の筋パワーには、トレーニング強度の影響は観察されなかった。高齢者の爆発的なレジスタンストレーニングの処方におけるひとつの興味深い特徴は、低~中強度(40~60%1RM)において、最大筋力とパワーだけでなく、筋サイズと機能的パフォーマンスの向上も達成されたことである(88,488)。

単独研究もまた、低強度、中強度および高強度の爆発的なレジスタンストレーニングを行なうことにより、高齢者において同様の神経筋および機能的な適応を引き起こすことを明らかにした(150,501)。これは、高速で筋活動を行なうことはタイプII筋線維からなる高い閾値の運動単位を動員するためであると説明できるだろう(4)。さらに、力は変位重量と加速の積であるから、たとえ中強度であっても、

より速い速度でレップを行なうことは正味の力を増大させる。さらに、運動速度は相対的強度に逆相関することを考えると、運動速度はトレーニング強度の直接的な指標であるとみなすことができるだろう(524)。

いくつかのRCTとメタ分析から、短縮性局面で高速運動を用いる中強度(40～60% 1RM)のレジスタンストレーニングプログラムが、高齢者の最大筋力、筋パワー、筋量および機能的能力の増大を誘発するというエビデンスが提供された(44,71,88,416,488,573)。しかし、この特定の種類のレジスタンストレーニングに関しては、様々なセット数やトレーニング頻度の比較データは不足している。

最近のエビデンスは、12週間にわたり行なった1セットおよび3セットのパワートレーニングは、どちらも高齢の女性において、動的筋力と等尺性筋力、収縮活動の力積および機能的パフォーマンスを改善したことを示唆した(487)。さらに、セット中の発揮パワーを最適化し、筋疲労を避けるためには、短縮性筋活動の限界までレップを行なうべきではない(230)。筋疲労は安全性に危険を及ぼす可能性があり、また必ずしも筋力とパワーの適応反応に必要なではない(230)。発揮パワーの向上のために作成され処方されるエクササイズは、傷害リスクを減らすために特別な注意を払い、適切なフォームとテクニックで実施する必要がある。負荷やスピードまたは強度を漸進させる前に、適切なフォームを習得しなければならない。さらに、発揮パワーのためのエクササイズは、神経筋への刺激を最大化するために、減速(バー/負荷を保持する)を避けるべきである。ニーエクステンションやチェストプレスなどのオープンキネティックチェーンエクササイズにおける爆発的な運動は、それぞれ、膝のOAやローテーターカフの疾患がある場合は避けるべきである。さらに、股関節のOAと同様、腰椎骨の退行変性やOA症状のある場合には、レッグプレスエクササイズを避ける必要がある。

中強度の爆発的なレジスタンストレーニングと高強度の伝統的なレジスタンストレーニングでは、誘発される神経筋適応の大きさに違いがあるため、両様式のトレーニングを行なうことが推奨され、期分けされたレジスタンストレーニングプログラム全体を通じてトレーニングを組み合わせる必要がある。

要するに、レジスタンストレーニングを機能的な向上に役立てるためには、中強度(40～60% 1RM)で短縮性局面を高速で行なうパワーエクササイズを取り入れる必要がある。

### 筋力と呼吸循環系持久力の適応の最大化

レジスタンストレーニングと持久系トレーニングは、特異的で本質的に異なる心臓血管系と神経筋系の適応を有す

る。レジスタンストレーニングへの主要な適応には、筋細胞の肥大、最大の運動単位の動員増加、最大の運動単位の発火頻度の促進、脊椎の運動性神経の興奮性の亢進、および遠心性運動指令の増加などが含まれる(339)。これらの神経筋の適応は筋力とパワーの増大をもたらす(4)。それとは対照的に、持久系トレーニングは $\dot{V}O_2\text{max}$ と酸化的代謝を通してエネルギーを生み出す骨格筋の能力を高め、中枢および末梢適応を引き起こす。これらの適応には、ミトコンドリアの生合成、ミオグロビン量、毛細血管密度、基質貯蔵および酸化酵素活動などの促進が含まれ、さらに最大心拍出量を増加させる(94)。

有酸素性エクササイズ(72)やストレングストレーニング(275,601)を用いた場合、トレーニングに対する反応には個人間でかなり変動がある。年齢、性別と人種性などの因子を勘案しても、トレーニングへの応答者と非応答者はどちらも明らかである(72,275,601)。したがって遺伝的な差は、トレーニングを用いたどちらの適応においても、また老化に伴う変化においても、個人間の変動の部分的原因である(210,624)。事実、遺伝研究は、筋量の最大76% (5)、筋力の最大65% (103,495)が遺伝に因ると明らかにした。特定の遺伝子の多型とは対照的に、同義遺伝子が筋力、筋サイズ、機能の老化に伴う低下の原因であると思われる(210)。とはいえ、老化に伴う筋力の低下に対する遺伝の影響は相対的であり、環境因子(103)や慢性疾患(194)がより大きな役割を果たすというエビデンスもある。

高齢者における筋力、パワーおよび持久力の各トレーニングの組み合わせ(同時トレーニング)は、筋力、呼吸循環系体力、神経筋機能さらに機能的能力の低下に対抗する最も効果的な対策であると思われる(89)。また同時トレーニングは、心血管代謝疾患の予防とコントロールのための総合的な身体活動量を増やす。

しかし、神経筋と呼吸循環系の適応の同時促進は困難な課題となる恐れがある。特に持久系トレーニング処方の過度の量と強度は、レジスタンストレーニングによって誘発される神経筋適応を損なう可能性がある(効果の干渉)(95,203,267,345,434)。したがって、同時トレーニングの最適な処方では、高齢者における神経筋系と心臓血管系の適応を促進するために、トレーニング変数(強度、量、週当たりの頻度およびエクササイズの順序)の最も効果的な組み合わせを特定することが重要であると思われる。高齢者の同時トレーニングによる適応を引き出すには、トレーニングの量と頻度は最も重要な役割を果たす。ある研究によると、最低頻度の同時トレーニングのセッション(筋力トレーニングを週1回、サイクル持久系トレーニングを週1回)が、トレーニング経験のない高齢の被験者において、筋力、筋肥大、持久力パフォーマンスの著しい増加をもたらす可能性があ



ることが示唆された(293)。時間的な制約により、推奨頻度でトレーニングを実施できない場合には、筋萎縮を防ぐために、週1回の最低頻度でも利用できるだろう。

週当たりのトレーニング量が比較的多いトレーニングプログラムを調査した研究は、同時トレーニングは、各トレーニング様式(筋力と持久力)のセッションをそれぞれ週2回別の日に用いて(合計4日:レジスタンストレーニング2日、持久系トレーニング2日)、ストレングストレーニングだけを行なった群に比べ、同様の筋力適応を誘発したことを報告した(551)。しかし週3回の同時トレーニングで、同じ日にレジスタンストレーニングと持久力トレーニングを行なうと、その集団では「干渉効果」が生じる可能性がある(95)。週3回のトレーニングでは、ストレングストレーニングだけを実施するほうが、同時トレーニングよりも大きな筋力の増加が観察された(95)。このような潜在的な干渉効果にもかかわらず、観察された筋力の増加は、ストレングストレーニング群と同時トレーニング群が同じように筋力を増加させた研究で観察された増加に匹敵した(293,551,650)。さらに、セッション内のエクササイズの配列も高齢者における筋力の適応の大きさに影響を及ぼすと思われる(554)。持久系エクササイズの前にストレングストレーニングを行なうことは、高齢者集団の神経筋適応を最適化するとと思われる。しかし、どちらのエクササイズの順序も、同様の筋肥大と持久力の向上をもたらしたことは注目する必要がある(91)。また週2回と週3回の同時トレーニングはどちらも、すでに十分なトレーニング経験のある高齢者では、類似の神経筋および心臓血管系の変化を引き起こすことが明らかになっている(180)。

要するに、同時トレーニングプロトコルは、週2~3回行なう必要がある。頻度の少ない同時トレーニング(週1回のストレッチングと週1回の自転車などの持久系トレーニングセッション)もまた、トレーニング経験の乏しい高齢者では、顕著な神経筋系と心臓血管系の変化を促進すると思われる。ストレングストレーニングと持久系トレーニングを同日に行なう場合は、セッション内のエクササイズの順序として、持久系エクササイズの前にストレングストレーニングを行なうことで、筋力の向上が最適化されるだろう。

## 機能的動作

高齢者のその後の人生における障害の予防または軽減のために、漸進的なレジスタンストレーニングが推奨される(42,533)。複数の研究が、筋力が一旦ある閾値に達すると、それ以上の筋力の向上はADLのパフォーマンスに追加的な利益を提供しない可能性があると強調している(69,144,323,324,359,378,380,410,559)。したがって、機能的トレーニングのエクササイズを多要素で構成されるトレーニングプログラ

ムに取り入れることが、ADLパフォーマンスのさらなる向上に有益である(162,168,394)。機能的トレーニングは、多関節の複雑で動的な運動に焦点を合わせ、ADLのある課題を遂行するための個人の機能的能力を発達させるバリエーションを取り入れる(557)。機能的なトレーニングは動作の特異性を伴うトレーニングを通して、ADLのパフォーマンスを改善する。このトレーニングで行なわれるエクササイズには、ADLとよく似た運動パターンが必要である。いくつかの研究は、機能的トレーニングプログラムがADLのパフォーマンスにプラスの効果を与えること、また、トレーニングの終了後6ヵ月経ってもその効果が持続することを示した(125,151,220)。

筋量や筋力の減少は、老化に伴う身体機能の低下を部分的にしか説明できない。その他の基本的な運動コントロールの側面も高齢者の機能的パフォーマンスに影響を及ぼす。例えば、動的バランスや運動コーディネーションの低下である(534)。機能的トレーニングは、漸進的で複雑なコーディネーションが必要な運動を通して、ADLパフォーマンスをより上手く模倣するため、運動制御の複数の特徴を取り入れることができる(378)。先行研究では、負荷をかけたウェイトッド・ボックスステップアップ(374)などの動的バランスに基づくレジスタンスエクササイズを通して、機能的トレーニングを適用し、椅子からの立ち上がりなどの日常の機能的運動に負荷を加えることによって、または機能的動作をスピードを変えて練習することによって(349)、下半身の機能的筋力が改善された(559)。バランスとコーディネーション活動の組み合わせ、挑戦的なバランス姿勢でADL課題を練習することも用いられた(125)。さらに、エクササイズは必要に応じて関節可動域を制限するように修正でき、それでもなお、可動域や筋力、機能を改善できる(571)。これらの様々な方法の有効性はまだ比較されていない。該当する機能的トレーニングの研究デザインや評価法が様々に異なっていることにより、比較は困難である。しかし、筋力、パワー、持久力の向上のための動的レジスタンストレーニングを含む包括的なエクササイズプログラムを動的バランスや機能的動作課題と組み合わせると、高齢者の身体能力の向上と機能低下の防止が可能になると奨励されている(315)。漸進的なレジスタンストレーニングと同様、機能的トレーニングエクササイズの強度や可動域は、各高齢者の能力に合わせて個別に調節する必要がある。

要するに、動的バランスと機能的トレーニングを動的なレジスタンストレーニングと組み合わせることにより、高齢者における身体能力を改善し、機能の低下を防止できる。

高齢者のためのレジスタンストレーニングは個別化、ピリオダイゼーション、および漸進性の原理に従うことが必要である

高齢者のためのレジスタンストレーニングプログラムの作成は、より若い世代のために十分に確立されているのと同じ原理を用いるべきであるが(17,341)、高齢者にとっては個別化がなお一層重要である。どのような高齢者を指導する際にも、ニーズ分析と評価を行ない、個人に応じたレジスタンストレーニングワークアウトを作成し、プログラムの修正を行なうべきである。理想的には、ワークアウトとトレーニングプログラムはモニタリングされ、個人それぞれに固有の身体的、心理的、医学的な課題に適合するように作成され、また、時とともに変化する個々の健康/体力目標を順次達成するために、あらゆる整形外科的問題、移動能力および/またはトレーニング様式(持久力、筋力とパワーまたは機能的トレーニング)に対する耐性に対処する必要がある。さらに、レジスタンストレーニングプログラムでは、筋と筋力およびバランスの最適な向上を促進するために、ワークアウトの監督が重要である(354)。

個人のワークアウトのデザインに関しても、また全トレーニング期間にわたる漸進に関しても、一時的なプログラム変数を考慮することが重要である。そのようなプログラムデザインは、回復およびレジスタンストレーニングプログラムで必要となる修正の可能性に基づく必要がある。エクササイズの実行は、筋力やパワー、局所的筋持久力の促進から利益を得る筋構造を決定する。全身のプログラムなのか、それともきわめて特異的な単一の筋群のプログラムなのか、あるいはある筋群(膝の伸展筋群など)のための少数の専門的エクササイズなのかを決定しなければならない。多くの研究は、ある特定の筋群に対するトレーニングの効果を検査するための研究デザインであるため、当該筋群のためのエクササイズをわずか1~3種目だけ取り上げている。しかし、個人が全身のトレーニングを行なっている場合に、これを現場に適用できるかはまだ不確かなままである。さらに、種類や様式(フリーウェイトかマシンか、等慣性か反復活動か)は、神経筋系の様々な特性に影響を及ぼすだろう。ワークアウト全体を通して疲労が徐々に蓄積するため、エクササイズの順序はプログラムにとって重要である。通常、大筋群をプログラムの早い段階でトレーニングする。同様に、エクササイズの順序はサーキットタイプのプロトコルにとっても重要である。その場合、様々なエクササイズが短い休息時間を挟んで行なわれるが、エクササイズの順序により疲労の生じ方が異なるためである。

高齢者研究で用いられるトレーニング負荷は、多くの場合30~90% 1RMであり、通常、介入期間の長さはもちろん、漸進とピリオダイゼーションの枠組みに依存している

(66,465)。最大レップ数とRMゾーンのトレーニングが様々な研究において使用されてきたが、高強度のトレーニングでは、関節へのストレスと関節痛をモニタリングする必要がある。スピニングフライホイール(はずみ車)を用いる等慣性レジスタンスエクササイズは、より高強度のレジスタンスエクササイズのストレスに対する準備が整っている特定の高齢者集団において有益となる可能性がある(596)。セット数は総作業量に寄与し、エクササイズ種目に対し1~4セットの範囲であり、漸進的な取り組みとピリオダイゼーションのコンセプトに相対的である(17)。セット間とエクササイズ間で休息を取るための時間は、高齢者を対象とした様々な研究で1.5~3分までの範囲であるが、ここでも再び、休息時間は、症状(めまいや吐き気など)のない漸進が必要なプロトコルに対する高齢者の耐性に基づいている。

レジスタンストレーニングプログラムにおける漸進のための一般的なフォーマットが、健康な高齢者に関して発表されている(17)。高齢者における漸進に関する基本的な関心は、作業負荷に対する耐性と至適回復である。多くの初期の研究は一定の負荷を用い、そして本来の筋力増加に量の変化を関連づけた(201,358,425,483)。他の研究は、次第により重い負荷まで漸進させて、様々な負荷と量のサイクルを用いた(12,238,504)。少数の研究は、非線形のピリオダイゼーションを使用し、バリエーションを提供するために、異なる日に様々な異なる負荷を用いた(342,441)。研究文献には多くの選択肢が報告されているが、様々な取り組みを直接比較した研究は1件だけである。老化とレジスタンストレーニングに関する画期的研究において、Conlonら(132)は、男性(72歳)と女性(70歳)の被験者を対象に、非ピリオダイゼーション、ブロックピリオダイゼーション、波状形ピリオダイゼーションおよび日常トレーニングを初めて直接比較した。収縮期血圧、血液生物指標、身体組成、最大筋力、機能的な能力およびバランス信頼性などを含むそれぞれの健康と体力のバイオマーカーに関して、有意な向上が両方のピリオダイゼーショントレーニングプロトコルで観察された。しかし、特定のレジスタンストレーニングプログラムを22週間実施した後、若年成人の集団とは異なり、トレーニング群間の有意差は示されなかった(132)。若い集団では、ピリオダイゼーションプログラムは、非ピリオダイゼーションプログラムよりも筋力の向上に優れていると思われる(172)。とはいえ一部のエビデンスは、一定の抵抗を加えるよりも様々な抵抗を変えるほうが、高齢者の身体機能の向上を促進することを示唆している(279)。

したがって、レジスタンストレーニングには複数の取り組み方が可能であり、このテーマに関しては、さらに多くの研究が必要である。今後の研究は、プログラムの継続の

ために、より長期間にわたる個人の反応パターンとプログラムのバリエーションの影響も取り上げる必要がある。最終的には、それぞれのプログラムは、個人の耐性に見合う方法で漸進させ、また各高齢者が目指す目標に特異的であることが必要である。

## 第2部：高齢者におけるレジスタンストレーニングに対する プラスの生理学的適応

適切に作成されたレジスタンストレーニングプログラムは、老化に伴う筋の収縮機能の変化や萎縮、ヒトの骨格筋の形態の変化に対抗できる。

多くの研究(66,278,468)が、全身の除脂肪量の測定値、特定の体肢筋(大腿四頭筋など)の筋横断面積(CSA)および生体組織検査による個々の筋線維に対するレジスタンストレーニングの効果を調査した。Petersonらによるメタ分析(468)は、高齢者(男女、年齢 $65.5 \pm 6.5$ 歳)が平均20.5週間にわたり全身のレジスタンストレーニングを行なったところ、1.1kgの除脂肪量の増加がみられたことを示した。また著者ら(468)は、トレーニング量と参加年齢が除脂肪量の改善に対するレジスタンストレーニングの効果に影響を及ぼし、トレーニング量が多ければ除脂肪量も増加したことも指摘した。

レジスタンストレーニングは、たとえ超高齢者(85歳以上)であっても、骨格筋のCSAを増大させることが示されている(183,352)。先行研究では、解剖学的にCSAが4~33%増大したことが報告された(50,245,251,290,310,342,427,496,510,516)。しかし、これらの変化は、若い成人(18~35歳)においてレジスタンストレーニング後に通常報告される筋力増大よりも小さい(66,140)。高齢者において、筋サイズに及ぼすレジスタンストレーニングの効果は、性別(男性>女性(288))、調査した筋群(大腿四頭筋の4つの筋間で増加の程度は異なる(245))、筋長(筋の中央部付近が最も増大が大きい(245,496,510))、さらに筋サイズの測定法(解剖学的CSA vs生理学的CSAなど)により影響を受ける(496)。トレーニングにより誘発された1本の筋線維のサイズの肥大も報告された(201,241,243,352)。前のエビデンスは、筋線維の肥大は性別に影響を受けること(29,277)、また年齢が進むと鈍化すること(337,399,472,492)を示唆している。同様に、1本の筋線維の収縮機能(ピークの力、パワーおよび短縮速度)は、高齢者のレジスタンストレーニング後に向上するが(492,609)、この適応もまた性別によっても(608)、また老化によっても(561)影響を受けるように思われる(561)。

要するに、レジスタンストレーニングは、収縮機能や筋肥大、および骨格筋の形態などの老化に伴う変化に対抗できる。

適切に作成され実施されたトレーニングプログラムは、高齢者の筋力、パワーおよび神経筋の機能を促進できる。

## 筋力

ダイナペニアは、老化に伴う筋力の低下を説明するために使用される用語である(395)。先行研究は、健全な高齢者は1年に0.8~3.6%の筋力低下を経験することを示唆し、その値は高齢になるほどさらに顕著になると思われる(199,225,373)。レジスタンストレーニングは筋力の老化に伴う減少を軽減する身体活動の効果的な様式であることが知られている。例えば、上半身と下半身の筋力は、レジスタンストレーニング後に有意に向上し(66,465)、その範囲は9~174%に及ぶ(7,28,40,53,63,71,81,101,102,115,143,154,177,178,183,232,236,254,257,258,264,271,272,279,281,284,286,290,291,308-310,342,366,387,416,428,454,477,482,483,491,497,502,503,516,540,579,581,594,606,630,641)。

注目すべきことは、レジスタンストレーニングはきわめて高齢の集団(>85歳)でさえ、筋力の向上を引き起こす(183,184,351)。いくつかの研究が、高齢者は、より若い成人と比較すると、同程度の割合で筋力の向上を経験することを示唆した(241,243,271,441)。しかし、他の研究では、若い成人におけるより大きな向上が報告されている(365,389)。いくつかの最近のメタ分析とレビューによると、筋力適応はトレーニングの持続時間(66)とトレーニング強度(66,465,552,573)により影響を受けることが報告された。しかし、全体のトレーニング量が等しければ、高強度と低強度の差は最小化できると示唆する研究もある(140,493)。これらに基づくと、高齢者は持続時間に依存するレジスタンストレーニングに反応して筋力の増大を経験し、その程度は、持続時間と強度と量に応じて変化する。

## 筋パワー

骨格筋のパワーは、筋収縮の力またはトルク(回転力)とその速度との積と定義される。先行研究によると、高齢者において、筋パワーは筋力よりも大きな割合で低下し(68,292,412,414,558)、機能的制限と密接に関連していることが示唆される(43,45)。レジスタンストレーニングにより、骨格筋パワーが14~97%顕著に改善することが明らかになった(150,186,262,263,274,383,398,489,499,528,559)。最近のメタ分析では、高速のレジスタンストレーニングは、伝統的な低速のレジスタンストレーニングと比較すると、筋パワーの向上に一層効果的であることが示唆された(573,580)。さらに、より少量のトレーニング量が筋パワーのより大きな向上と関連することが報告されている(580)。



## 力の立ち上がり速度

力／トルクの立ち上がり速度(RFD / RTD)は爆発的または高速の筋力の測定値であり、通常、等尺性の随意最大収縮(MVC)中の初期の力／トルクの上昇から求められる。MVC筋力(ピーク筋力)の老化に伴う減少は、十分に裏付けられている(51,161,216,272,292,602,603)。しかし、RFD / RTDは最大筋力よりも大きく減少することが報告されていて(161,216,292,330,602,603)、高齢者の機能にとって(451,452)、また転倒の危険性にとって(54,453)、一層重要であることが示唆される。高齢者において、上半身と下半身の高速の筋力は、レジスタンストレーニング後、有意に増大することが明らかになっている(34,107,241,243,245,272,583,619)。

## 筋の活性化

主働筋の随意活性化と拮抗筋の同時活性化は、高齢者において老化の作用として、それぞれ、減少(60,296,426,429,619,659)および増大(292,331,390)することが報告されてきた。しかし、先行レビューで言及されたように(280,329)、これらの知見は普遍的ではない。長期にわたるレジスタンストレーニングが主働筋の活性化を増大させることが示されているが(428,496,497,529,619)、他方、他の研究では変化は報告されていない(181,251,333)。活性化の増大は、当初の活性化レベルの低い被験者間で最も顕著になる可能性がある(529)。さらに、高齢者のレジスタンストレーニング後には、随意活性化の変化と等尺性筋力の変化および特異的な筋力( $r=0.86$ )の間には、強い正の相関関係( $r=0.92$ )が報告されている(251)。先行研究において、高齢者のトレーニングにより誘発される同時活性化の変化に関する結果も一様ではなく、減少する(241,243)、変化なし(427,428,496)、増大する(147)という異なる結果が混在している。高齢者のレジスタンストレーニング後にみられる拮抗筋の同時活性化の減少は、拮抗筋の同時活性化の増加が明らかになった高齢者で起こる可能性があること示唆される(4)。

## 筋構造

先行研究では、筋構造の老化に伴う変化に関しては、異なる結果が混在している。例えば先行研究において、高齢化による筋束長と羽状角の減少(436)、羽状角の減少のみ(216,429,604)、または筋束長のみの減少(575)が報告されているが、筋構造に変化はないとの報告もある(314)。それにもかかわらず、長期にわたるレジスタンストレーニングが筋束長(496)や羽状角(427,496,584)を増大させることが示されている。しかしSuettaら(585)によると、高齢者は、不動化の期間後に、若い成人と比較すると、レジスタンストレー

ニングによって誘発される筋構造の変化が弱まる可能性があることが明らかになった。

## 慢性炎症

慢性炎症はしばしば高齢化に伴って起こり(193,443)、骨格筋量の減少と機能低下のメカニクス的な部分での原因になると考えられている(460)。血中炎症性マーカー(サイトカインと急性期反応物質)の値は、高齢者において通常2～4倍高い(443)。それでも、炎症(血漿C反応性タンパク質濃度で測定)と身体活動レベルの間には、逆で単独の量-反応関係が報告された(443)。長期的なレジスタンストレーニングは炎症を低減するように思われる(98)。具体的には、最近のメタ分析で説明されているように、より多くのエクササイズ種目を伴うエクササイズ量(>8)、週当たりのより高い頻度(3回/週)、およびより長い持続期間( $\geq 12$ 週間)が炎症(血漿C反応性タンパク質とTNF- $\alpha$ により測定)を軽減することが示された(525)。興味深いことに、エビデンスはこの関係が筋量によって仲介される可能性を示唆している(525)。

## 生涯にわたるレジスタンストレーニング

大多数のレジスタンストレーニング研究は、6～52週間継続するトレーニング期間を設定しているが(66)、さらに、高齢のマスターズアスリートは、筋の機能や形態に対するレジスタンストレーニングの効果を調査するために、生涯にわたって実施される調査のモデルになっている。先行研究により、ウエイトリフティング競技に出場するマスターズアスリートは、同年齢のコントロール群と比較すると、筋力、パワー、RFD、筋量、およびタイプII筋線維の平均CSAがより大きいことが報告されている(3,459,620)。さらに、最新研究においてマスターズアスリートは、非活動的な高齢者やレクリエーションレベルの活動的な高齢者に比べ、筋の随意活性化の程度がより大きく、若い成人にほぼ匹敵することが示唆される(620)。これらの発見は、レジスタンストレーニングが高齢化に伴う神経筋系の変化に対抗するための身体活動の重要な様式であることを示唆している(620)。またこれらの研究では、非鍛錬者のコントロール群と比較すると、長期的にレジスタンストレーニングを行っているアスリートも、同様の、筋力とパワーの老化に伴う減少を示したことを報告した(459)。しかし85歳のウエイトリフティング選手は、65歳のコントロール群と同程度のパワーを発揮できることから、長期的なレジスタンストレーニングには、およそ20年の有利性があることが示唆される(459)。さらに、ストレングストレーニングを行なった高齢者( $\geq 68$ 歳)は、40歳も若い成人とよく似た筋の特徴(最大等尺性トルク、運動速度、CSA、特異的筋緊張、ミ

オシンとトロポミオシンアイソフォームの含有量)をもつことが示されている(332)。最後に、Kennisら(321)によると、以前非活動的であった高齢者が1年間の長期にわたるレジスタンストレーニングを行なったところ、7年間のデイトレーニング後でも、7年間の追跡期間に同様の筋力の低下が認められたにもかかわらず、同年齢のコントロール群と比較すると、なお大きな筋力の値を保っていたことが証明された。

要するに、老化に伴う低下にもかかわらず、高齢者は長期のレジスタンストレーニングに従事することにより、筋力、パワー、筋量そして機能を維持できる。

高齢者におけるレジスタンストレーニングへの適応は、トレーニングに対する神経筋の適応および神経内分泌系とホルモンの応答を介して生じる。

### 神経筋

高齢者のレジスタンスに対する主な適応は、筋に直接負荷をかけることに関係のある、改善された神経筋領域において観察される。Moritani&deVries(425)による1980年の古典的研究は、神経の変化が高齢者のトレーニングの初期段階における筋力の増大の主要な仲介メカニズムであることを明らかにした。レジスタンストレーニングに伴う筋力と筋肥大の増加は様々な時期に起こり(483)、適応の時間経過において、2つの明白なメカニズムが作用していることを示唆する。神経機能の改善に起因する筋サイズの増大は、適応変化の顕著な特徴としてみられる。

神経筋系は老化により明らかな影響を受ける(280)。老化の影響は、老化に伴うアポトーシスによる細胞喪失からか、廃用からかにかかわらず、運動単位の機能に影響を与えると推測される(439)。運動単位の減少は、健康で活動的な個人においても、老化に伴う筋力の減少の根本にある主要な因子である(163-166)。研究者は高齢者(60~81歳)では、運動単位の数が47%減少すると推定した(165,166)。しかし筋活動においては、若い成人では通常、より小さな運動単位から動員されるが、高齢者は比較的大きな運動単位を動員する傾向がある(439)。だがなお、運動単位の減少にもかかわらず、高齢者はレジスタンストレーニング中に筋を十分に活性化できる(84,473)。したがって、老化に伴って起こる筋力の低下は、相対的な筋の活性化の失敗によるものではないと考えられる。

レジスタンストレーニングは、老化に伴う神経筋系の低下の速さや大きさを緩和する(4,197,199,547)。レジスタンストレーニング中の高齢者に、様々な神経の変化が生じることが示された。Aagaardら(4)のレビューに示されているように、中枢神経の活性化の増大を含め、筋電図(EMG)活動

の振幅の増大が示す神経筋のより大きな活動、RFDの向上、最大運動神経ニューロンの発火頻度の増加、細かな運動制御の向上、主働筋の活性化と拮抗筋の同時活性化の増大、力調節の安定性の向上、脊髄の抑制的影響の低下などである。トレーニングを行なった筋の最大統合EMGの増大は、主にトレーニングの最初の8週間にみられ、変化した神経活動がパフォーマンスの向上を示唆している(238-240,248)。高齢者(平均年齢68歳)が長期間(1年間)、中~高強度のレジスタンストレーニング(週3回、75%1RM、8レップを3セット)を行なうと、筋力は3ヵ月間にわたり急速に増大するが、その後は30%(股関節伸展筋群)から97%(股関節屈曲筋群)の増大範囲で停滞する(483)。

### 筋肥大

レジスタンストレーニングは、高齢の男女の筋力、筋構造および筋機能を総合的に改善する有望な手段であることが、複数のレビューにより明らかになっている(4,58,89,94,96,106,132,208,259,282,388,391,437,474,498,527,580,615,648)。具体的には、レジスタンストレーニングは筋サイズを増大させ、ステイフネスと機能性を高めることにより筋と腱の構造的特徴の適応に影響を及ぼすことができる(498)。高齢男性(60歳)において、50~75%1RM(611)から75~90%1RM(658)までのサーキットトレーニングを用いると、筋力と筋サイズの劇的な増大が起きた。

高齢の男性と女性において同程度の増大を示した研究もあるが(238,240,607)、他の研究は、高齢の女性よりも男性において、レジスタンストレーニングに対する筋サイズの反応がより大きいことを明らかにした(287,307)。いずれにしても、CSAの変化は男性のほうが女性よりも大きいと思われるが、6ヵ月間のトレーニングに対する適応において筋量には性差がないように思われる(516)。さらに、10週間の非線形ピリオダイゼーションによる全身のレジスタンストレーニングは、高齢男性の筋力と筋サイズの増大に効果的であるが、その適応はより若い男性ほどは大きくない(342)。これはおそらく、神経および/またはホルモンの影響が異なることによる可能性が高い。

筋線維レベルでは、軽い負荷で多レップのレジスタンストレーニングによる筋肥大が65歳の高齢の男性において観察された(358)。タイプIとタイプIIの筋線維とも、断面積が増加し(それぞれ33%と27%)、同時に行なったコンピュータ断層撮影(CTスキャン)でも、大腿四頭筋の筋サイズの全体的な増大が証明された(201)。30週間のレジスタンストレーニング後、タイプI(58%)とタイプII(67%)の両筋線維のCSAが増大した(483)。興味深いことに、男女の非鍛錬者の骨格筋は、タイプIとタイプIIの筋線維の構造的特徴に若干の相違がある(202)。しかし長期的なレジスタン

ストレージは、筋線維タイプ全体におよぶ筋肥大でみられる男女間の差を縮小する可能性が高い。

要するにレジスタンストレーニングは、老化に伴い劣化することが知られている神経筋の構造と機能を改善することができる。神経筋の老化プロセス自体を止めることはできないが、過去50年間にわたる研究から、様々な神経筋系全体にわたる低下の大きさと速度を緩和できることは明らかである。

### 内分泌応答

レジスタンスエクササイズに対する急性ホルモン応答は、レジスタンストレーニングに対する適応影響を与える(346)。エクササイズへの急性ホルモン応答と筋の機械的刺激の組み合わせが、細胞質内のステロイド受容体に影響を与え、筋成長とリモデリング(再成形)を促進し、筋力の増大と筋肥大をもたらす(346)。レジスタンスエクササイズによるストレスは、ホルモンの基本濃度を変えるだけでなく、分泌能力にも影響を及ぼすため(338)、安静時やレジスタンスエクササイズ後のホルモンの血液サンプルが、レジスタンスエクササイズとトレーニングが適応に果たす役割に洞察を提供している(631)。様々な既知の内分泌腺を形成している細胞と組織は、老化に伴い、人体のほぼすべての細胞と同様、その構造的成り立ちだけでなく分泌能力をも変化させる(159,382)。様々な研究レビューでエビデンスが示されているように、レジスタンスエクササイズは、老化に伴う場合でさえ様々なホルモンと分子情報伝達経路に異なる影響を及ぼす(4,531,566,631)。レジスタンストレーニングのタンパク同化的性質ゆえに、レジスタンスエクササイズはそれらの内分泌腺の構造と機能を促進し、その老化プロセスを抑える役割を果たすと長い間考えられてきた(513,517)。老化に伴うホルモンのシグナル伝達とサルコペニアの相互作用は、1980年代と1990年代を通して明らかにされた(549)。

臨床研究により、高齢男性にはしばしば「男性更年期(andropause)」と呼ばれる、血中テストステロン濃度の低下が起こることが明らかになっているが、その進行と個人差はなお論争的になっている(59,175,319,463)。しかし、性腺の機能低下がテストステロン濃度の低下だけでなく、様々な一連の症状により適切に診断される場合には、男性の生理機能に多数の悪影響が生じる(36,104)。2010年のレビュー論文では、テストステロンの安静時血中濃度は、40歳を過ぎると毎年1~3%ずつ低下することが指摘された(631)。女性では基本的に低値ではあるが、テストステロン濃度は老化に伴い、閉経後は一定に保たれるかまたはわずかに上昇する(175)。高齢の男性と女性において、テストステロンの安静時濃度がレジスタンストレーニングにより変化する

とは思われないが、その効果はエクササイズの挑戦課題の種類および/またはトレーニングの長さにより異なる(10,12,67,137,201,244,246,289,299,342,504,636)。しかし、高齢男性の血中テストステロンは、一時的なレジスタンスエクササイズの遂行に反応し、特にスクワットのように大きな筋が動員されるエクササイズプロトコルでは(342)著しく増大する(10,246)。高齢男性でも、アンドロゲン受容体の伝令RNAの発現が、レジスタンストレーニングに反応して増加するかはまだ明らかではなく、諸研究は矛盾する結果を報告している(10,12,276)。とはいえ、若い男性では、筋内のアンドロゲン受容体の量がレジスタンストレーニング後、骨格筋の筋肥大に影響を及ぼすことが示されている(430)。レジスタンスエクササイズは、レジスタンスエクササイズ後のアンドロゲン結合タンパク質量(ウエスタンブロット解析による)を増加させる可能性があるが、測定タイミング、使われたプロトコルと栄養状態が増加に影響を与える(347,631)。さらに、テストステロンには組織、特に骨格筋との多数の非遺伝的相互作用がある(347)。

下垂体-副腎系は、高齢者のストレスと回復力に関与し、老化に伴う疾病の発症責任にも関与する(205,212)。異化ホルモンであるコルチゾールは、男女を問わず、50~89歳までに20%増加すると推定される(360)。レジスタンストレーニングを行っても、高齢者の安静時コルチゾール濃度は変わらないままである(89,244,291)。だが高齢の男女において、レジスタンストレーニングに対する安静時コルチゾール濃度の応答は一定ではなく、若干の被験者は一時的な減少を示すが、変わらない被験者もいる(67,95,244,246,291,342,440)。レジスタンスエクササイズに対するコルチゾールの一時的応答パターンは、高齢者と若い成人とで類似しているが、その程度は高齢者において減少すると思われる(67,342,636)。しかし、このような結果はテストで用いたエクササイズの種類、テスト方法、トレーニングプログラムおよび/またはトレーニングプログラムの期間によって変わる。

成長ホルモン(GH)は、遺伝子凝集体、スプライス変異体および結合タンパク質を含むスーパーファミリーである(340,447,520)。GHの生理活性型は、免疫反応型よりも血液中に高濃度で存在する(343)。若い女性においては、レジスタンストレーニングが血液中の生理活性型GH濃度の増加を引き出す(340,344,447)。一時的なレジスタンストレーニングを行なったあとの生理活性GHは、高齢女性(61歳)では若い女性(23歳)よりも有意に低いことが示されている(228)。さらに、高齢の男女(60~90歳)の半数以上が、血中生理活性GH濃度がきわめて低いか、全く検出されない(343)。これは、高齢の男女の一部は、下垂体の合成分泌機能が高齢に伴い劇的に衰えていることを示唆している。



免疫反応型GHに関しては、生理活性GHよりはるかに低い濃度で血液中で発見されるが、安静時の値はレジスタンストレーニングによって影響を受けないと思われる(108,137,244,249,342,611,614)。免疫反応型GHの急性反応は、エクササイズの種類と血液pHの変化に関連があるため(229,507)、高齢の男女におけるレジスタンスエクササイズへの急性反応には変動がみられる。しかし通常は、一時的なエクササイズは免疫反応型GHにはほとんど、または全く変化をもたらすことはない(219,299,348,611,622,636)。

インスリン様成長因子もまたペプチドと結合タンパク質とスプライス変異体のスーパーファミリーである(213,446)。インスリン様成長因子-I(IGF-I)は、組織の修復と代謝に関する重要なバイオマーカーとして報告されていて、健康と体力に大きな意味を有する(401,446,448)。IGF-Iの高齢化に関連する変化が組織の成長に関係する多くの様々なタンパク同化メカニズム(565)や神経筋の機能(450)に影響を与えらると思われる。したがって、IGF-Iは老化のバイオマーカーとして利用され、高齢者の衰弱と機能低下に関係のある免疫内分泌メカニズムに関連していることが知られている(65)。ゲノムに関する最近の広範囲なメタ分析から、血中IGF-IとIGFBP-3(結合性タンパク質3)が長寿を介在するメカニズムできわめて重要な役割を任けている可能性があり(598)、高齢者では、老化に伴う減少がみられる(250)。

血中IGF-Iまたはその結合タンパク質のレジスタンスエクササイズやトレーニングに伴う変化はかなりばらつきがあり、しかも高齢の男女を対象とした研究すべてでみられるわけではない(614,658)。レジスタンスエクササイズに対する応答では、安静時または一時的なエクササイズにより誘発されたIGF-Iの増加は観察されなかった(484)。同様に、メカノ成長因子(MGF: mechano growth factor)、細胞外シグナル制御キナーゼ(Erk1/2)、AKT8ウイルス発癌遺伝子細胞性相同(Akt)、リボゾームタンパク質S6賦活素(p70S6K)タンパク質濃度またはインスリン様成長因子-IイソホルムEa(IGF-IEa)の基本濃度とレジスタンストレーニングに対する一時的応答、およびMGF mRNAの発現などは、若い男性と高齢男性の間では認められなかった(11)。しかし、IGF-Iの安静時濃度は、高齢者において、ピリオダイゼーションを用いたトレーニング(342)や高強度(80% 1RM)レジスタンストレーニング(108)の結果として、上昇したことが示された。しかし、レジスタンスバンドを用いた漸進的レジスタンストレーニングでは、上昇は促進されなかった(269)。

要するに、内分泌系はレジスタンスエクササイズに応答し、様々なホルモンにシグナルを送るきわめて重要な役割を果たす。とはいえ、基礎/安静時濃度およびレジスタンスエクササイズやトレーニングに反応する、または伴う一時的な血中ホルモン濃度の変化は、高齢の男女において変

動が大きい。多数の組織受容器の標的と内分泌腺から分泌される血中ホルモンに影響を受ける多数の細胞の構成要素との相互作用により、観察される血中濃度の変化を解釈することには困難が伴う。エクササイズストレスに伴うホルモン濃度やその変化は、筋力、筋サイズ、筋のタンパク同化作用などに関与するが、しかしこれらのシグナルが細胞レベルでどのように介在するのかは、今後の解明が待たれる。内分泌系がレジスタンスエクササイズやトレーニングにより活性化することはほとんど疑問がない。しかし高齢者において、同化および/または異化作用の仲立ちとなる実際の局所的なメカニズムを実証するためには、さらに研究が必要である。

### 第3部：高齢者のためのレジスタンストレーニングの機能的利益

適切に作成されたレジスタンストレーニングプログラムは移動能力、身体機能、日常生活動作のパフォーマンスを改善し、高齢者の自立性を維持できる。

老化に伴う健康と身体機能の低下は、自立した生活に必要な高齢者のADLの遂行を妨げる(9,283)。身体機能は筋力とパワーに関係があるため(37,184,190)、高齢者において筋力とパワーを維持し強化するための介入は、身体機能の維持に欠かせない。研究によると、身体活動と運動は、高齢者の障害の発生を遅らせ、生活の質を保ち、自立した機能を維持し(76)、長期間の自立した生活を送ること(567)に関連があり、より高レベルのエクササイズがADLの機能の向上に最も効果的であった(353)。ADLに関する障害の累積発生率は、エクササイズ(レジスタンスおよび/または有酸素性)を行なわない高齢者(52.5%)よりも行なう高齢者(37.1%)のほうが低い(461)。さらに、有酸素性トレーニングにレジスタンストレーニングを加えると、機能的な課題により大きな改善をもたらす(562)。

エクササイズの種類と量に関しては、多様式(レジスタンス、有酸素性、機能的、バランスなど)のエクササイズが、筋力やバランスおよび身体機能などの向上に幅広い効果をもたらすと思われるが(379)、他方、レジスタンスエクササイズが機能的な課題に最も一貫性のある利益や(455,605)、健康に関連する生活の質の向上をもたらした(152)。Brayらによるレビュー(76)では、フレイルの開始を防ぐために、有酸素性、レジスタンス、柔軟性、バランストレーニングの各要素をエクササイズ処方に取り入れるべきであり、特にレジスタンスとバランストレーニングを強調する必要があると報告された(76)。特にレジスタンストレーニングは、機能的な移動能力における老化に伴う変化を抑制でき、歩行速度、静的および動的バランスの改善や転倒の危険性の軽減なども含まれる(455)。したがって、レジスタンストレー

ニングは単独でも、また機能的トレーニングと組み合わせても(週2回、10週間)、ADLの遂行能力がそれぞれ21%と26%向上したことが明らかになっている(394)。

ADLパフォーマンス向上のためのエクササイズ処方、ニーズの評価と個別化に従うべきであり、研究では、高齢者は週2～3回、大筋群を使って30～60分間の運動をセット間に2分の休息を挟んで行なうことが示された(76,353,455)。週3回参加することによって得られる機能的体力の利益は、週3回未満参加する場合よりも大きい(435)。30分またはそれ以上続くセッションのほうが、ADLが困難となる割合がより低かった(353)。レジスタンストレーニングの強度は、推定1RMの割合に基づくが、プログラムは55% 1RMから始め(筋持久力)、より高強度の85% 1RMまで(筋力)漸進させる必要がある。このようなプログラムを遂行することができるのであれば、機能的能力の向上を最大化できる(76,455)。移動能力、身体的機能、ADLの遂行、さらに自立のために、高齢者が漸進的なレジスタンストレーニングに参加することを奨励すべきであり、レジスタンストレーニングは、個人の能力に合わせた適切なレベルで開始し、推奨される活動量まで漸進させる必要がある(455)。

要約すると、レジスタンストレーニングは移動能力、身体的機能、ADLのパフォーマンスを改善し、高齢者の自立性を維持する。

適切に作成されたレジスタンストレーニングプログラムは、傷害および転倒などの重大事象に対する高齢者の抵抗力を向上させることができる。

高齢者集団において転倒は頻繁に起こる脅威であり、アメリカでは毎年、高齢者の少なくとも30%が転倒を経験し、80歳以上の高齢者では50%に達する(24)。転倒は高齢者にとって大惨事になる可能性があり、骨折や重度の傷害をもたらし、また慢性痛や障害の主な原因にもなる(111)。身体障害とフレイルはどちらも高齢者の重症疾患への罹病性を高める(99,200,433,490)が、転倒歴のない高齢者は、転倒歴のある高齢者よりも多くの時間を有酸素性トレーニングやストレングストレーニングに費やしていると報告している(15)。さらに、共変量を調整後、ストレングストレーニングと転倒事故のさらに強い、有意な保護的関係性が認められる(15)。

複数の研究が、多要素のエクササイズ介入により転倒の発生率が減少し、したがって結果的に障害や疾病および死亡を防ぐことができると報告した(33,96,195,255,385)、延べ9,603名の被験者を調査した44件の研究のメタ分析では、身体運動により転倒率が17%低下したことが明らかになった(546)。同様に、さらに最近のメタ分析によると、対象となった約2万名の地域の在宅高齢者において、エクササイ

ズが転倒率を21%低下させたことが明らかになった(545)。転倒率に対するエクササイズの最大の相対的効果は、エクササイズ量の多い、バランスエクササイズを含むプログラムで認められた(546)。いくつかの研究から、転倒の危険性を減らし、転倒による傷害を減らすために(316)、エクササイズ処方にレジスタンスエクササイズを含めることの重要性が明らかになった(564)。さらに、エクササイズ介入は、在宅高齢者の転倒に対する不安を軽減する(320)。フリーウエイトとマシンを利用した全身のエクササイズを含む漸進的なレジスタンストレーニングプログラムは、スクワットやスプリットスクワットなどのクローズドキネティックチェーンのエクササイズも含め、静的バランスの向上に効果的である(221)。

さらに、両足を近づけた状態または片脚で、手による最小限の支えだけで行なう立位のエクササイズや、歩行ではなくコントロールしながら重心を移動させるエクササイズなどが、転倒の防止に最も効果があることが証明された(546)。したがって、転倒の危険性がある高齢者のためのエクササイズの漸進では、特に骨粗鬆症の高齢者の場合は、有酸素性エクササイズより前に、レジスタンスエクササイズとバランストレーニングから始めるのがよいと思われる。

要するに、高齢者の転倒事故とその結果を減少させる効果的な方法として、レジスタンストレーニングの有効性はエビデンスにより裏付けられている。

適切に作成されたレジスタンストレーニングプログラムは、高齢者の心理社会的健康の増進に役立つ。

心理的すなわち精神的健康障害は、高齢者の約20%に影響を及ぼしている(635)。高齢者に最も蔓延している心理障害または気分障害は、認知症、うつ病およびアルツハイマー病で、その罹患率はそれぞれ高齢者の14% (479)、10% (572)、10% (479)を占める。このような状態は相互に関連するように思われる。例えばうつ病は、機能的障害、医学的疾患、死亡率、認知症の増加と関連があることが知られている(572)。非活動的なライフスタイルも、うつ病の増加の危険性に関与する(108,599)。さらに、老化に伴う体力の低下がうつ病の要因になると考えられている(64,592)。

適切に作成されたレジスタンストレーニングプログラムは、高齢者の心理的な健康に様々な利益をもたらす。長期介護施設で暮らす高齢者(592)または地域の在宅高齢者(317,556)において、レジスタンストレーニングプログラムは、うつ病の自己評価と介護者による評価のレベルを下げることに効果が認められた。うつ病の高齢者に対して、レジスタンストレーニングが、標準的な薬物療法で投与される抗うつ薬と同程度の効果があることが示されている(556)。さらに、レジスタンストレーニングは重度の認知症に伴う

行動問題(社会性の混乱、コミュニケーション障害、セルフケアと意識の混乱など)を軽減すると思われる(119)。

うつ症状を軽減するレジスタンストレーニングの利益は、中～重度の診断レベルのうつ病がある高齢者において最も顕著である。例えばChenら(119)は、老人ホームで暮らす認知症の高齢者を対象に実施されたレジスタンストレーニングプログラムが、15ヵ月間にわたりうつ症状を軽減したが、非エクササイズ群の被験者の病状は悪化したことに注目した。一方、健康でやる気旺盛な成人を対象に、レジスタンストレーニング後の気分の変化を調査した研究では、前向きな気分をもたらす利益が示された(408,617)。

レジスタンストレーニングプログラムは、高齢者にその他多くの心理的また行動上の利益をもたらすことも明らかになっている。総合的な気分の改善(108,119,660)、混乱や怒りの好ましい変化(408)、特性不安の減少(108,616,617)、睡眠の質の向上(108,556)、緊張緩和(408,616,617)、活力の向上(408,616,617,660)、空間認識や視覚および身体的反応時間の改善(192)、および自己効力感(556,616)の向上などが含まれる。

高齢者におけるレジスタンストレーニングの心理的効果に焦点を合わせた研究では、大抵マシーンを用いたトレーニング様式を用いているが(108,408,556,616,617,660)、少数の研究は大筋群に的を絞リエラスティックバンドを用いたトレーニングを行なった(119,592)。介入プログラムは8～12週間の短期プログラムから(556,592,616,617,660)、6～15ヵ月の長期プログラムまで様々である(108,119,317,408)。ある研究によると、生活の質の最大の改善とうつ症状の減少は、レジスタンストレーニングプログラムの最初の3ヵ月間に起こり、9ヵ月にわたる介入の終了時まで継続していたことが示された(317)。これらの著者は、当初の大きな身体的利益がより良い心理的機能に寄与するが、両方の利益は数ヵ月後に停滞するという仮説を立てた(317)。同時に、エビデンスからは、高齢者がレジスタンストレーニングプログラムへの参加を止めると、心理的向上はベースラインに戻ることも示唆されている(317)。

大多数の研究は、監督下の週3回のセッションを被験者に提供した(108,119,408,556,592,616,617,660)。ある研究は、週1回、2回、または3回のセッションを行ない、レジスタンストレーニングの心理的利益を比較することを目指した(317)。著者らは週2回と3回のセッションは、環境的な生活の質に週1回のセッションより、さらに良い改善をもたらしたと結論づけた。心理的な生活の質と連帯感は週1回および2回のセッションに反応して改善したが、うつ症状は、2回または3回のセッションに反応して軽減された(317)。著者らは、週2回のセッションが最も有益であると示唆し、従来非活動的だった高齢者にとっては、週3回の高強度レ

ジスタンストレーニングセッションは高齢者の心理的機能にとって負担が重すぎると論じた(317)。

レジスタンストレーニングの強度は、関連研究間で様々に異なる。例えば、2件の研究は80% 1RMで8～10レップと設定し(108,408)、他の研究は80% 5RMで10レップを採用した(660)。少数の研究は、トレーニング強度と心理的利益との関係を観察することを目的に定めた(408,556,616,617)。Tsutsumiら(616)は、高強度トレーニング(75～85% 1RMで8～10レップ)と低強度トレーニング(55～65% 1RMで14～16レップ)とを比較し、どちらのプロトコルも同様に、高齢の被験者の緊張や特性不安を軽減し、自己効力感を高めたことを見出した。これらの著者は、心理的な変化はトレーニングプログラムの強度と必ずしも相関関係はないと結論づけた(616)。Tsutsumiら(617)は気分と特性不安における実験で同様の高強度vs低強度のプロトコルを採用したが、その結果、群間の差はみられなかった。しかし著者らは、過去にトレーニング経験のない高齢女性にとって、中強度のプログラムはさほど要求が厳しくないため、「一層楽しい経験」を提供した可能性があるとして指摘した(617)。Singhら(556)もまた、高強度(80% 1RMで8レップ×3セット)と低強度(20% 1RMで8レップ×3セット)のプロトコルを比較した。これらの著者は、量-反応効果を見出し、高強度のプログラムがうつ症状や不安の軽減、身体能力に対する自信の向上、総合的な充足感や生活の質を大きく改善したことを明らかにした(317,556,616)。

トレーニング強度はレジスタンスエクササイズの利益に関連があり、うつ症状の大きな軽減は、より高強度のトレーニングとより大きな筋力の増大に起因する(556)。レジスタンストレーニングの結果としての筋力の増大は、直接うつ症状を軽減させることが示されている(556)。さらに、うつ症状の軽減は、より高強度のトレーニングと関連がある(556)。その上、より高強度のトレーニングは、活力、生活の質のより大きな改善や睡眠の質の変化にも関連がある(556)。著者らは、高強度のレジスタンストレーニングは、うつ症状のある高齢者にとって、実行可能で安全な治療法であり、低強度のトレーニングや一般的な医師による治療よりも大きな治療効果があると結論を下した(556)。トレーニング頻度に関しては、週2回のレジスタンストレーニングが心理的機能(環境的な生活の質と連帯感)に有益である(317)。

以上をまとめると、週2～3回の中～高強度のレジスタンストレーニングは、高齢者に様々な前向きな気分をもたらす、心理社会的利益を提供する。



#### 第4部：フレイル、サルコペニアその他の慢性症状に関する留意点

レジスタンストレーニングプログラムは、フレイル、移動能力制限、認知障害その他の慢性症状のある高齢者に合わせて調節できる。

##### フレイル

フレイルは、いくつかの生理学的機構の変化により、生物学的な機能の蓄積やストレスに対する抵抗力が減少することが特徴の、老化に伴う症候群であり、些細なストレスに対する脆弱性を高め、不幸な結果(障害、転倒、死亡、入院など)を招く(509)(100,508,509)。フレイルには、高齢化やライフスタイル、慢性疾患に関連する変化とそれらの相互作用が含まれる(55,639)。65歳を超える高齢者のフレイルの有病率は高く(7.0～16.3%に及ぶ)、年齢が増すにつれて増加し(30,196,211)、高齢化における障害の主要な危険因子である(654)。フレイル症候群の基礎にある主な病態生理学的問題のひとつは、老化に伴う筋力と筋量の減少である。筋萎縮は身体活動の減少により悪化し、総合的な機能が低下してフレイルをもたらす(424,600)。また身体的な不活動は、筋量と機能の低下が始まる重要な因子であり、それが今後はフレイルに関連する重要な特徴にもなる(509)。

不健康や障害、および他者への依存は、高齢化の避けられない結果ではない。確かに、高齢者であっても健康なライフスタイルを実践し、座りがちな生活を避け、身体活動やエクササイズ(ウォーキング、ストレングストレーニング、自己管理による身体活動など)に参加し、医療予防サービスを利用し、家族や友人と積極的に交わる人は、健康で、自立し、健康関連の出費が少ない暮らしを維持できる可能性が一層高い(656)。虚弱な高齢者の機能的な能力を改善することにおいて、レジスタンストレーニングは最も重要な要素のひとつである(96,121,153,381)。研究により、この集団に合わせて作成されたレジスタンストレーニングは、虚弱な高齢者の身体機能の回復に役立つことが明らかになっている(88,184,255,384,536)。週3回、8～12レップを3セット、強度は20～30% 1RMから始め、80% 1RMまで漸進するレジスタンストレーニングプログラムが、習慣的な歩行速度、階段を上る能力、身体活動の増加、総合的な身体活動レベル、および筋力とパワーの増大にプラスの効果をもたらす(88,96,184,261,384,536)。虚弱な高齢者におけるストレングストレーニングの効果を調査した複数の研究において、傷害や有害な副作用は報告されたり観察されたりしていない。したがってレジスタンストレーニングは、フレイルの高齢者でも十分実施可能である(184,261,359,536,586)。

機能的な能力を最適化するために、レジスタンストレーニングプログラムは、トレーニングの習熟過程を含める必要

がある。その場合は、被験者の自重を負荷として用い、大抵、「シットtoスタンド」エクササイズなど)ADLを模倣する(88)。さらに、期分けしたプログラムを使い、高速で行なうレジスタンスエクササイズを取り入れれば、高齢者の機能的課題のパフォーマンスのより大きな向上を達成できる(88,488)。爆発的なレジスタンストレーニングを含む12週間の多要素で構成されたトレーニングが、施設に入所している90代のフレイルの高齢者において、筋パワー(96～116%)、筋力(24～144%)、筋のCSA、筋脂肪浸潤(4～8%)などの改善を示したが、さらに機能的な能力の結果や2つの性質をもつ課題のパフォーマンス(7～58%)も向上したことが明らかになった(88)。しかし、悪いフォームやエクササイズの遂行の誤り、さらに深刻なOAは、高速のレジスタンストレーニングにとっては禁忌である。爆発的なレジスタンストレーニングには、適切な習熟と漸進が守られねばならない。8～12レップを3セット、週3回実施するストレングストレーニング介入は、まず20～30% 1RMの強度から始め、80% 1RMまで漸進させることで、フレイルの高齢者にも十分に耐えられ、著しい筋力の増加をもたらすと思われる(94,261,586)。

レジスタンストレーニング介入が神経筋機能の顕著な改善を促進することが明らかになっているが、レジスタンストレーニングを含む多要素のエクササイズプログラムによるトレーニング介入は、筋力、呼吸循環系体力、バランスなど複数の身体的健康要素を刺激するため、おそらくより大きな総合的な改善をもたらすと思われる(62,88,96,195,255)。さらに、エクササイズプログラム(レジスタンストレーニングを含む)は歩行運動やバランスなどの機能的なパラメータの促進にも繋がり、転倒の危険性を減じる(33,88,96,125,255,385)。複数の身体コンディショニング要素(筋力、持久力、バランス)でエクササイズ介入が構成されている場合には、1種類のエクササイズだけの場合に比べ(536,595)、機能的な能力に対するプラス効果がより頻繁に観察される(96,385,627)。またいくつかの研究において同様に、多要素のエクササイズ介入が転倒事故を減らし、障害を防ぎ、有病率と早期死亡率を低下させることが報告された(33,88,96,195,255,385)。

要するに、レジスタンストレーニング、歩行の再トレーニング、バランストレーニングなど、多数の要素からなるエクササイズ介入プログラムは、高齢者の歩行やバランスおよび筋力を改善し、さらに転倒の発生率を減らすだけでなく、高齢期間の機能的な能力を維持する最善の対策であると思われる。レジスタンストレーニングを単独で、または多要素のエクササイズプログラムの一部として行なった研究は、身体的に虚弱で深刻な機能低下のみられる高齢者において、より大きな筋力の増大を明らかにした。表2は、

フレイルの高齢者を対象に、体系的なレジスタンストレーニングプログラムを単独、または多要素からなるエクササイズプログラムの一部として実施した研究の主な結果とそれらのトレーニングの特徴の概要である。

### 移動能力制限

およそ5,300万人のアメリカ人が障害を抱えて暮らしている(198)。身体障害がもたらす移動能力制限は、多くの異なる病因から生ずる可能性がある。例えば、先天性の疾患(脳性麻痺、筋ジストロフィーなど)や後天的な障害(脊髄損傷、下肢切断など)、または高齢化に伴うフレイルの段階的な作用などである。病因にかかわらず、身体障害のある人は、生活の質の低下(431)、慢性疾患の危険性の上昇(327)、さらには若年での死亡など(191)、多くの副次的な負の健康転帰を経験する。さらに、身体障害があると、機能障害(疼痛、関節痙縮、筋痙直、高血圧/低血圧、運動障害)に直接結びつく健康状態を生じる危険性が高まる。または、機能障害自体の間接的な結果(糖尿病や粥状硬化心臓血管系疾患などの心臓血管系疾患[CVD]が非活動的な行動と肥満に関連して増加する)として起こる可能性もある。身体的不活動性といった健康上の結果を促進する主要な因子は(149,464)、障害者により広くみられ、身体活動に関する現在の米国政府の勧告を満たしているのは、障害者のわずか4人に1人だけであり、障害のない成人よりも有意に非活動的である(70,133,402)。したがって、身体活動による介入研究では、障害のある高齢者のために、行動変容、コーチング、フィードバック、ロールモデルなどの理論的な枠組みの利用などが提言されている(114,351)。実際、世界保健機関(WHO)の機能、障害と健康の国際分類(ICF: International Classification of Functioning, Disability and Health)の様々

な局面(646)と患者の心理社会的環境を含め、病態生理学と併せて、介入の選択を決定するいくつかの重要な留意事項がある。

65歳以上の高齢者の24%が移動補助具(杖、歩行器、車椅子など)を用いているが、年齢が高くなるにつれてそれらの利用も増える(215)。移動補助具は、バランス、筋力、コーディネーション、感覚異常、反応性の低下などを埋め合わせ、転倒の危険性を低下させる。転倒事故は地域で暮らす65歳以上の在宅高齢者に広くみられる事故で、その35~40%が毎年転倒を経験する(113)。転倒予防の努力が増加するにつれて移動補助具の利用も増加し、すべての年齢で杖や歩行器、車椅子の利用がそれぞれ26、57、65%増加した(357)。高齢化に伴う移動能力障害の高い有病率を考慮すると、立位で補助なしで行なう伝統的なレジスタンスエクササイズは、バランスや移動能力が衰えた高齢者にとっては現実的でないと思われる。そのため、エクササイズは椅子を用いて、主に座った姿勢で行なえるように改変できる(23)。椅子を用いるエクササイズプログラムは、介護施設環境でも在宅環境でも、移動能力に制限のある高齢者が実施でき、機能的な移動能力の改善が認められている(TUG、シットtoスタンドテスト、歩行速度、身体活動など)(23)。筋力やバランスおよび機能が改善するにつれて、プログラムを立位でのエクササイズに漸進させてもよい。プログラムの期間は6週間~6ヶ月の範囲で、頻度は毎日から週3回まで、セッションの持続時間は20~60分の範囲とする(23)。

高齢者のレジスタンスエクササイズに関して発表されている研究の大多数は、一側性で、単関節のテストやトレーニングを含んでいる。これらは、単一筋群の筋力の非対称性を強調するだけでなく、主働筋/拮抗筋の筋力比の相違(大腿四頭筋とハムストリングスなど)を確認するためにも

表2 フレイルの高齢者のためのレジスタンストレーニングのガイドライン<sup>†</sup>

変数	推奨
レジスタンストレーニング	週2~3回、8~12レップを3セット行なう。強度は20~30% 1RMから始め、80% 1RMまで漸進させる。
パワー	高速で行なう低~中強度(30~60% 1RM)のパワーエクササイズを取り入れることにより、機能的課題のパフォーマンスを顕著に改善する。
機能的トレーニング	日常活動を模擬するエクササイズ(シットtoスタンドなど)を取り入れて、機能的能力を最適化する。
持久系トレーニング	レジスタンストレーニングの適応を補完する。筋力とバランスの改善後に開始する。ペース・傾斜・方向を変えたウォーキング、トレッドミル、ステップアップ、ステアクライマー、ステーションナリーバイクなどを取り入れるとよい。5~10分から始め、15~30分まで漸進する。強度の処方主観的運動強度を用いることも選択肢である。Borgスケールの12~14は十分に耐えうるレベルである。
バランストレーニング	複数のエクササイズ刺激を取り入れる。例えば、ラインウォーキング、タンDEM支持での立位、片脚立ち、かかと~足先歩行、ステップ練習、両脚間の重心移動など。
漸進	エクササイズの量、強度、複雑さを徐々に上げる。

RM=最大挙上重量

<sup>†</sup>:エクササイズは適切なフォームとテクニックで行なう。エクササイズの漸進前にフォームとテクニックを確実に習得し、漸進中も維持する。

重要である。四肢に決定的な非対称性や骨粗鬆症が危惧されるため、特に脳性麻痺などの先天的疾患や脳卒中の後遺症など患者にとって重要である。重要なこととして、脳性麻痺の患者は年をとるにつれて、広範囲の非心理社会的で、非伝染性の症状が生じる。例えば、骨密度の減少、内臓脂肪の蓄積増加、筋萎縮とサルコペニア、耐糖能障害とインスリン抵抗性、身体活動への参加の減少、極端に非活動的な行動習慣などである(31,356,423,471,512,544,550,569,645)。これらの因子は、脳性麻痺や他の小児期に発症した疾病の患者を骨粗鬆症、糖尿病、主なCVDなど、老化に伴う二次的な慢性疾患の危険性を加速させる(466,612)。脳性麻痺の患者が直面するこれらの健康状態の多くは、この集団に特異的なものではなく、したがって、早期老化とフレイルのモデルを提示している。

広範囲な機能的能力に関連しているため、単関節の強化プロトコルは本質的に制限される。それでも、上腕三頭筋のエクササイズや股関節の外転エクササイズは、転倒の危険に曝されている高齢者の機能的な向上に役立つと思われる。両側性のクローズドキネティックチェーンのエクササイズに耐えられる患者にとっては、これらのエクササイズはむしろ、筋間の筋力のコーディネーションを表す、はるかに優れた指標である。したがってテストやトレーニングは、多関節運動(レッグプレス、チェアスタンド、チェストプレス、ラットプルダウン、シーティッドロウなど)に重点を置き、上下肢のすべての大筋群を網羅する必要がある。大きな移動能力障害のある高齢者にとっては、フレイル、疼痛、痙直、歩行運動/整形外科的障害により、立位でのエクササイズは実践的ではないし、不可能な場合すらある。このような例では、ストレングスエクササイズは座った姿勢で行なうことができ、シーティッド・リカンベントサイクルエルゴメータおよび/またはステッパー、上半身のエルゴメータなどを用いて、補完的な有酸素性エクササイズを行なうことができる。さらに、すべての運動テストは注意深く行なうことが必要であり、個人に合わせた身体活動とエクササイズ処方を作成することを目的に実施すべきである。

### 軽度認知障害と認知症

軽度認知障害は、正常な認知能力の衰えと初期認知症の間の経過的状态とみなされる(393,588)。最近の研究により、軽度認知障害のある高齢者は、認知能力が正常な高齢者よりも歩行機能障害の割合が一層高いことが明らかになっている(420)。認知症は、活動的なADLに影響を与え、社会的また職業的な機能を損なうため、主要な公衆衛生上の問題を象徴する症候群である(265)。

認知障害とフレイルはどちらも病態生理学的メカニズム

の一部および短期的、中期的な結果(入院、転倒の発生、障害、入所、死亡)を共有する。そのため、認知障害はフレイル症候群と密接な関連がある(105,211)。さらに、認知症の進行により、認知障害のある高齢者は大概フレイルになり、入院患者となる(265,555)。さらに、筋組織と中枢神経系は障害の進行過程の発症経路を共有し、それがおそらく、筋力と認知障害の否定的な相関の根底にある(420)。さらに、認知症の主要な否定的な結果のひとつは、身体活動の深刻な減少であり、それには転倒を防ぐための身体拘束の利用など、いくつか原因がある(56)。通常、身体拘束は長期的な介護が必要な高齢者に用いられ(663)、社会的、心理的、身体的な悪影響を及ぼし、自律性の喪失、サルコペニアの悪化、筋力の減少、起立や歩行動作の障害などを含め、総合的な機能的状態と生活の質を著しく低下させる(56,663)。

身体運動は、軽度認知障害と認知症の身体的結果を緩和する効果的な介入である(185,265,375,478)。Heynら(2004)によるメタ分析には、認知症と軽度認知障害のある被験者(66～91歳、平均年齢80歳)を対象とした30件の試験が含まれるが、エクササイズトレーニング(レジスタンストレーニングを含むいくつかの介入)により、体力、身体機能および認知機能が改善したことが示された。さらに別のメタ分析では、認知障害のある患者におけるエクササイズトレーニングによって誘発された筋力と持久力の改善は、認知能力が障害されていない高齢者が達成した改善と同程度であることが明らかにされた(266)。

認知障害のある高齢者の認知能力および機能的状態に対する様々なトレーニングプロトコルの有効性を比較した研究は数が少ないが、レジスタンストレーニング介入がこれら的高齢者に利益をもたらすことが示されている(93,185,265,375,478)。そのような利益には、有病率の減少(375)、筋力、バランスおよび歩行能力の向上(93)、総合的な認知機能の向上(185)、実務機能や広範囲な利益の維持(185)などが含まれる。レジスタンストレーニング後の認知能力に生じる利益は、様々なRCT(185,376,403,623)とメタ分析(265,266)において観察された。さらに、レジスタンストレーニングと有酸素性トレーニングを合わせた介入は、有酸素性トレーニングだけを取り入れた高齢者よりも認知機能に大きな利益があることが明らかになった(129)。認知機能に対するレジスタンストレーニングの効果を考察したRCTでは、注意力(376)、記憶力(588)、発話流暢性(588)および広範囲な認知機能(185,588,593)の有意な向上が示された。とはいえ、レジスタンスエクササイズを含む身体活動介入では、認知能力の低下を防ぐ一貫性のある利益は示されていないため(313)、特にレジスタンストレーニングを用いたさらに多くの研究が必要である(313)。

軽度認知障害または認知症の患者において、たとえ認知



機能に一貫性のある利益がないとしても、単独のレジスタンスエクササイズ、または多要素の運動介入に含まれるレジスタンスエクササイズは、機能的状態が重度に低下した被験者においてさえも(93)、神経筋機能と機能的パフォーマンスにいくつかの向上を促進させることが明らかになっている(256,393,478)。Hauerら(256)の研究において、3ヵ月間に70～80% 1RMの強度まで到達する、機能的トレーニングを組み合わせた、週2回の漸進的レジスタンストレーニングの結果、認知症の高齢者の最大筋力と機能的パフォーマンスは有意に増大した。さらに、ウォーキング、認知的エクササイズ、バランストレーニングと組み合わせた4週間の高速レジスタンストレーニングが、歩行能力、バランス、筋力(15～30%)を改善し、虚弱で多数の疾病を抱えるフレイルの患者、そして介護中に長期の身体拘束後に、複数の疾患を抱える患者の転倒事故を減らしたことが最近明らかになった(93)。この研究では、レジスタンストレーニングの強度は30% 1RMから始め、50% 1RMまで漸進させた。別の研究では、Mavrosら(403)が軽度認知障害のある高齢者(≥55歳)において、漸進的なレジスタンストレーニング(80% 1RM、週2～3回、6ヵ月)を行ない、筋力と $\dot{V}O_2\text{peak}$ が増大することを示した。興味深いことに、彼らの研究から、より高い筋力スコアが認知機能の向上と有意に相関することが示された。

これらを合わせると、レジスタンストレーニングは認知機能と神経筋機能を高め、軽度認知障害や認知症に関連する機能的能力の低下を改善する(185,265,403,478)。レジスタンストレーニングプログラムは軽度認知障害と認知症の高齢者の状態に合わせて(単純化と視覚的教示を用いて)適用できる。軽度認知障害と認知症の高齢者のためのレジスタンストレーニングに推奨されることは、患者の機能的状態により変わるが、これらの病態の初期段階では、従来のガイドラインで確立されたレジスタンストレーニング要素をもつプログラムが適用できるだろう。そのような方法では、漸進的な量と強度を用いることが推奨される。前述の研究に基づくと、強度が70～80% 1RMに達する強度に、軽度認知障害と認知症の高齢者は十分に耐えられ、筋骨格系の有害事象もほとんどみられず、認知機能が正常な高齢者となら変わりはしない(265,403)。しかし、30～50% 1RMの範囲の低強度のエクササイズを高速で行なうこと(バリスティックレジスタンストレーニング)は、おそらく機能的能力と神経筋機能全般を改善する選択肢のひとつであると思われる(93)。病状が中程度～重度の機能低下へと進行するにつれて、さらに大きな修正(より単純なエクササイズと指導、通常以上の監督、反復的で視覚的な指導など)が、しばしば理学療法士、医師、および/または専門職による指導と併せて必要となる。

認知症の高齢者のためのレジスタンスエクササイズを処方する際の成功を高めるための助言をさらに加えるとすれば、安心感や敬意、共感、そしてコミュニケーションの困難さなどの情緒面に配慮することが重要である(328)。指導内容の単純な構造、触覚による補助やミラーテクニックの利用は、複雑な口頭での指導よりむしろトレーニングの進歩を支え、認知症のクライアントにとって、慣れ親しんだ共感できるトレーニング環境を創出すると思われる(93)。最後に、エクササイズ専門職は、高齢者の怒りや攻撃的な感情の爆発が個人攻撃ではなく、疾病過程の結果であることを理解して、それらに備える必要がある。

## 糖尿病

アメリカでは、65歳以上の高齢者の約4人に1人が糖尿病である(112)。世界的には、4億2,500万人以上の糖尿病患者がいるとされ、糖尿病に関連する経済的負担はアメリカだけでほぼ5,500億ドルに達している(8)。高齢化に伴う身体機能と形態学的な健康の低下が個人レベルの危険性をさらに高めるが、それだけでなく、集団レベルでは、診断された糖尿病の発生率の増加は、死亡率の低下と寿命の延びと相まって、生涯の発症リスクを高め、糖尿病、およびCVDの罹患年数が長期化している(235)。筋の萎縮と衰弱は、高齢化および/または疾患(フレイル、移動能力障害など)に伴う二次的な心血管代謝疾患の悪化の原因となることも等しく重要であり、近年は、高齢者の脆弱性に対する限界点、すなわち閾値を特定する努力により(14,409,568)、臨床医が最も危険性の高い個人をスクリーニングすることを可能にしている。

レジスタンストレーニング自体は、有酸素性エクササイズを伴わない場合でさえ、2型糖尿病とCVDの危険性を低下させることが知られている(237,548,591)。さらにSenecalら(535)は、低下した筋力は、中高年の男性のメタボリックシンドロームの発症確率増加と独立して関連づけられ、危険性の増加を最もよく推測できる正規化された筋力の低下点を見出すことができた。さらに、Baltimore Longitudinal Study of Aging(ボルティモア老化縦断研究)から発表された最近の2件の研究は、大きな脂肪蓄積(421)と長期高血糖症(312)(糖尿病の二大特徴)が、それぞれ継続的、常態的に低い筋の質と筋力に関連していることを明らかにした。

年齢で統制した場合、糖尿病患者は身体活動レベルが低く、糖尿病ではない人々に比べ多くの機能的障害がある(234)。幸いにも、レジスタンストレーニングは、高齢者における2型糖尿病に関連づけられる機能および神経筋への負の影響を食い止める可能性がある(273,364)。レジスタンストレーニングは、筋肥大、筋機能の改善、筋力やパワーの増大、移動能力の向上、機能の向上、身体組成の改善、

および血糖コントロールの改善などを通して、2型糖尿病の持病がある高齢者に利益をもたらすことができると思われる(73,109,171,273)。レジスタンストレーニングにより、ヘモグロビンA1c(HbA1c)、空腹時血糖、インスリンとコレステロール(低密度リポタンパクと総コレステロール)など、糖尿病の進行経過を表す高齢者の血液検査の値を改善することが明らかになっている(273)。さらに、レジスタンストレーニングは、有酸素性トレーニングと臨床的に同程度まで(657)、HbA1c濃度を下げ、筋グリコーゲン貯蔵を増大させて、処方される糖尿病薬の投与量を減らすことができる(109)。

糖尿病の高齢者に有益なトレーニングプログラムには、漸進的な中～高強度(60～80% 1RM)のレジスタンストレーニングが含まれ、これを週3回16週間～6ヵ月間継続する(83,109,171)。糖尿病は他の危険因子や合併症を伴うことが多いため、糖尿病の高齢者のためのレジスタンストレーニングプログラムは、個人に合わせて医学的検査の結果に従い、医師の指導と許可を経て実施する必要がある。特に糖尿病の患者は、レジスタンスエクササイズ中に低血糖(血糖値<70 mg/dl)を起こしやすい。したがって、運動誘発性低血糖の恐れを減らすためにエクササイズセッションの前後に血糖値をモニタリングすることが必要である(128)。さらに、糖尿病の高齢者は、CVD、神経疾患、腎臓病、眼病にも罹りやすく、整形外科的な制限も生じやすい(128)。したがって、監督、強度、エクササイズの種類、様式、姿勢、足の点検と保護、視力制限などに関する特別な配慮が必要である。詳しくはアメリカ糖尿病学会のポジションステートメントに説明されている(128)。

## 肥満

アメリカでは高齢者のおよそ39%が肥満である(189)。しかし、人種/民族間でかなり開きがある(非ヒスパニック系の白人:39%、非ヒスパニック系の黒人:48%、アジア系:8%、ヒスパニック系:39%)。とはいえ肥満は、より広範な生物学的、公衆衛生学的な観点において検討しなければならない多民族に及ぶ疾病である。体格指数に対して過剰に蓄えられた内臓脂肪は、機能障害を起こしている脂肪組織の指標であり、異所性の脂肪蓄積が増加するきっかけとなる(156-158)。進行中の研究から、肥満が骨格と骨格筋、またその両方の健康や機能に病態生理学的転帰をもたらすことが明らかになっている(77,224,231,626)。非脂肪貯蔵組織(筋や肝臓など)への脂質の浸潤は、ある特定の疾病過程(2型糖尿病など)の特徴としても(206)、また長期間の非活動的な習慣に伴っても起こることがあり(396)、コンピュータ断層撮影法(CT)で成人から得られる形態学的データから(22,224,661)、局所的筋内脂肪組織、筋肉細胞内脂肪、お

よび/または磁気共鳴技術による骨髄脂肪組織(77,515)により特徴づけられる。先行研究によると、筋内脂肪組織と炎症促進性脂肪細胞によって生じるホルモンとサイトカインの上昇濃度には強い繋がりがあることが明らかになり(46,662)、それはまた骨格筋のインスリン抵抗性を高め、筋と骨格の質を低下させる(126,633)。したがって、ホルモン/代謝環境における顕著な変化と組み合わせり、過剰な内臓脂肪と筋内の脂肪蓄積は、筋骨格系の脆弱性の原因となる、全身的で深刻な生理学的環境をもたらす可能性がある。非活動的な高齢者は、筋力の低下とサルコペニア肥満(336,522)の危険性が有意に高いことがよく知られているが、それらは骨格筋脆弱症(131,445,458,618)、心血管代謝異常(371,532)、および高い全死因早期死亡率(27,521,655)などの主要な原因であると考えられている。また研究結果から、筋内と筋を取り囲む局所的脂肪組織が、肥満と老化における筋機能(筋量単位当たりの筋力)の低下(155,222,226)にも、また付随的な移動能力障害(632)にも関連があることも示された。したがって、高齢者の過剰な脂肪蓄積は、体重の増加のみならず、筋機能の低下により、その体重を挙上する能力の低下を同時に招き、二重のマイナス効果を生じることになるだろう。したがって、高齢者の肥満治療には、過剰な脂肪の蓄積を減らすことと同時に、筋肥大と除脂肪体重の維持を直接促進する包括的な方法が必要である。

ストレングストレーニングは、減量には効果がないと一般的に考えられているため、肥満の予防と治療によるその役割は、臨床や公衆衛生の現場や学会では、これまでほとんど注目されてこなかった。しかし長年にわたる研究基盤から、体重の減少とは無関係に、呼吸循環系、内分泌系、代謝系、神経筋系および形態上のプラスの適応を促進する、レジスタンスエクササイズの有用性が証明された。エクササイズ処方に関しては、肥満の高齢者に対する現在の最小限度の勧告は、一般的な身体活動を補うためのレジスタンストレーニングと呼吸循環系エクササイズを呼びかけている。週2～3回、連続しない日に、全身のための5～10種目のエクササイズを1セットずつ、中強度で10～15レップを行なうことを求めている。通常、トレーニング初心者認められているように、肥満の高齢者のためのレジスタンストレーニング処方、非常に少量のトレーニング(最小限のセット数と強度)で週1～2回だけ実施する習熟期間を設定する必要がある。習熟段階後に、肥満の成人は筋力と筋肥大の増大をもたらす、量を徐々に増加させる処方から利益を得るだろう。確立された最低限のガイドラインは非鍛錬者の筋機能を高める基礎を提供するが、現在では、高齢者の筋力と筋量の向上を目的とした漸進的レジスタンスエクササイズの実行可能性を裏付ける十分なエビデンスがある。レジスタンスエクササイズの漸進に関するさらなる



提案には、以下が含まれる。(a)非常に低強度(40～50% 1RM)、中強度(60% 1RM)、および高強度(70% 1RM)まで漸増させる、(b)セット数は、筋群ごとに2セットから最大4セットまで漸増させる、(c)負荷の漸増と同時に、レップ数を1セット10～15レップからおよそ8～12レップまで漸減する、そして(d)トレーニング様式を主にマシンを利用したレジスタンスエクササイズからフリーウェイトを加えたストレングストレーニング(または、膝関節または股関節のOAにより立位が困難な場合には座位でのエクササイズ)へと漸進させる。

サルコペニア肥満は、サルコペニアと肥満が併存している病状であり、人口の4～14% (判定基準により異なる)が影響を受けている(303,574)。サルコペニアと肥満の合併症では、筋量を増大させて身体機能を向上させながら脂肪量を減少させることにより、同時に身体組成を改善することが目標となる(613)。少ない筋量と多くの脂肪量が組み合わさると、健康転帰が悪化する危険性が高まる(613)。しかし、サルコペニア肥満の患者におけるトレーニングの影響を調査した研究によると、身体組成、筋力、機能の改善に効果的であることが明らかになった(118,204)。有酸素性トレーニングとレジスタンストレーニングを合わせたプロトコルは、サルコペニア肥満の患者の身体組成を改善することが示されているが、レジスタンストレーニングは特に筋力パフォーマンスに有益であった(118)。サルコペニア肥満の高齢者のリハビリテーション環境(369)、または介護施設の長期入居者のためには(120)、レジスタンスバンドを用いたり、座位で行なったり、レジスタンスエクササイズを修正して実施できるだろう。

## 心臓血管系疾患と高血圧症

アテローム硬化型CVDは、アメリカの死因の第1位で、成人の死亡原因の35%を占めている(432)。CVDには、高血圧症、冠状動脈性心疾患(CHD)、心臓麻痺と脳卒中などが含まれ、60～79歳の高齢者の70～75%、80歳以上の高齢者の79～86%が罹患している(652)。特に、高血圧症は高齢者にきわめて広く蔓延し、高齢者集団のおよそ60～70%に影響を及ぼしている(176)。トレーニングは、高血圧症の発症と合併症の治療にも予防にも効果的である(422)。

多数の研究が、心血管代謝の危険性と筋力低下の間の独立した逆相関を明らかにした(25,127,462,467,469)。さらに、筋量の減少と筋機能の低下は、高齢者のCVDの危険性を高める重要な原因のひとつとして確認されている(582)。同様に、老化に伴う筋量と筋力の減少は、従来しばしば看過されてきた伝統的ではないCVDの危険因子であるが、レジスタンスエクササイズで改善できる(576)。したがって、レジスタンスエクササイズはCHDの危険性の23%の低下と

内皮機能の向上に関連がある(576,591)。さらに、持久系トレーニングと組み合わせたレジスタンストレーニングは、高齢のCHD患者において筋力と機能の促進をもたらす(270,282)。さらに、レジスタンストレーニングは、CVDの主要な危険因子(異脂血症と2型糖尿病を含む)を減らすことができ(582)、またストレスに対する血圧反応を低下させることもできる(214)。2件のメタ分析において、レジスタンスエクササイズは収縮期血圧と拡張期血圧を3mmHg有意に低下させた(136,318)。高血圧前症だが、まだ高血圧の治療を受けたことのない高齢者において、レジスタンストレーニング後、約6mmHgの有意な収縮期血圧の低下と約7mmHgの拡張期血圧の低下が認められたことが報告された(260)。同様に、レジスタンスエクササイズは、高齢者の24時間および覚醒時の収縮期血圧の低下を促進できる(530)。拡張期血圧が5mmHg低下すると、推定で、脳卒中の危険性を34%、虚血性心疾患の危険性を21%減少させることができる(362)。このような利益が知られていることから、レジスタンストレーニングは、血圧を下げる非薬学的な治療であるとみなされている(82)。

このような利益にもかかわらず、レジスタンスエクササイズ中に一時的に血圧が上昇するため、高齢者におけるレジスタンストレーニングには、安全性に対する懸念が伴う。管理不良の高血圧はレジスタンスエクササイズにとって禁忌であるが、高血圧が医師により管理されコントロールされている場合は、レジスタンスエクササイズは血圧を改善する効果的な介入である。いずれにしても、管理された高血圧症の高齢者がレジスタンスエクササイズを行なう場合は、緊密なモニタリングと優れた臨床診断が必要である。エクササイズ中の血圧上昇の大きさは、強度(%最大努力)(372)と動員される筋量(418)によって決定される。医師からレジスタンスエクササイズを行なう許可を得たCVDの高齢者は、まず少ない負荷から開始し、ゆっくりと漸進し、低～中強度を維持する必要がある。正しい呼吸テクニック(バルサルバ法は回避する)で行なう低～中強度のレジスタンストレーニングでは、レジスタンスエクササイズにより誘発される血圧の上昇は緩和される(405)。さらに、レジスタンスエクササイズは、有酸素性エクササイズと比較すると、より低い心拍数と高い心筋(弛緩性)灌流圧により、心筋の酸素供給と需要により好ましいバランスをもたらすことを示唆するエビデンスもある(179)。降圧剤の投与を受けている人には、活動を突然停止した直後の低血圧発作を回避するために、ゆっくり長めのクールダウンが推奨される(505)。さらに、降圧剤の投与により高温/多湿環境で運動中の体温調節機能が損なわれ、低血糖を引き起こす可能性があるため、特別な注意が必要である(505)。

不安定な疾患に対する運動の危険性はあるものの、エク



ササイズトレーニングは、骨格筋の萎縮と心臓悪液質を防ぐことにより、心臓麻痺の治療過程にプラスの効果を及ぼす可能性がある(20)。臨床的に安定した症状の患者においては、悪影響や重大な合併症もなく、運動能力が向上したことが証明されている(476)。したがって、エクササイズの利益がその危険性を上回る場合は、床上安静の有害な影響を減らすために、トレーニングをできる限り早く始めることが推奨される(20)。血行動態的にきわめて不安定な場合の運動は、危険性を増大させる恐れがあるため(188,475)、臨床的な安定性を確認することは、エクササイズを実施する前の必須手順である(578)。臨床的な安定性には、症状の安定、安静時に症状がみられないこと、起立性低血圧が起らないこと、鬱血がみられないこと、体液バランスの安定、腎機能の安定、および正常な電解質の値などが含まれる(578)。心不全の患者においてレジスタンストレーニングは、骨格筋の萎縮を軽減するために特に有益であると思われる(75)。プログラムと漸進は医師の制限を守ること、危険性や禁忌を考慮に入れること、そして十分に耐えられる強度から始めることが必要である。レジスタンストレーニングには、補助筋群エクササイズ、短めの持続時間、低負荷、レップ数の制限、慎重な漸進などが含まれるだろう(475)。心不全を起こしたことがある患者は、エクササイズに対して過度な換気反応や適応反応の低下を示すことが予想される(122)。

### 慢性腎臓病

慢性腎臓病(CKD: chronic kidney disease)は、一般集団のおよそ14%と比較すると、高齢者集団では39~46%(134,577)が罹患している(444)。慢性腎臓病は腎損傷により腎機能が徐々に低下し(135)、高血圧や糖尿病を併発することが多い。同様に、老化した腎臓の特徴として、糸球体濾過速度が低下し、体液と電解質のバランス調節が損なわれる(48)。さらに、塩分の排出能力が損なわれた結果、血管収縮と血管抵抗性が増し(597)、脱水と高浸透圧血症の傾向がみられる(302)。CKDに関連する筋の消耗により、筋力が低下し、身体機能が損なわれるが、この症状は通常みられるものであり進行性である(116,485)。CKDの患者の筋力低下(筋の減少)には様々な原因があるが、タンパク質・エネルギー栄養障害(417,485)、タンパク質の分解と損失(370)、炎症誘発性サイトカイン濃度の増加に伴う慢性炎症に伴うタンパク同化ホルモン抵抗(370)、および炎症、代謝性アシドーシス、筋消耗をもたらすタンパク質分解を促進するホルモンなどの因子によるインスリン/IGF-I細胞内のシグナル伝達の障害(481)などが含まれる。

レジスタンスエクササイズはCKDの患者に様々な利益を提供する。そのなかには、血清アルブミンの増加、筋力の

増大、身体機能性の向上、IGF-Iの増加、糸球体濾過速度の増加(419)、炎症の抑制(300)、筋機能の向上(294)、骨格筋の筋肥大、筋力の増大、および生活の質の向上などが含まれる(117)。さらに、レジスタンスエクササイズは筋消耗症を軽減し、人工透析治療中や腎臓移植後の生活の質に利益をもたらす(57,97)。CKDの高齢者にとって、レジスタンスエクササイズの利益は危険性を上回ると思われる(294)。医師の許可があり、症状がコントロールされていれば、レジスタンスエクササイズはCKDの高齢者を助け、症状を管理し総合的な健康を改善するために実施すべきである。さらに症状の医学的な管理に加え、他の特別な留意事項としては、十分な水分補給を確保すること、糖尿病や高血圧などの合併症のためのあらゆる制限的ガイドラインを守ることなどが含まれる。

### 骨粗鬆症

骨粗鬆症は有病率の高い骨格疾患であり、60~69歳の高齢者では12人に1人、80歳以上の高齢者の有病率は4人に1人まで上昇する(651)。最もよく起こるのは股関節と脊椎の骨折であるが(523)、骨粗鬆症は骨折の危険性を高めることに加え、苦痛を伴い身体を衰弱させる症状であるため、健康に関連する生活の質の低下の原因となる(322)。研究によると、レジスタンストレーニングは骨粗鬆症の高齢者に有益で、骨密度を増加させ(335)、転倒による骨折を予防し(335)、身体機能、疼痛、活力を有意に改善し(368)、さらに、身体能力の自己効力感を促進し、背部の疼痛を緩和することにより、健康にかかわる生活の質を高める(377)。

レジスタンスエクササイズプログラムは骨粗鬆症の高齢者、特に疼痛のある高齢者のために、その耐性や能力に合わせて個別に作成することが必要である。骨粗鬆症の高齢者は、比較的低強度から始め、各大筋群のために8~12レップを2~3セット行なうことを目標に、各自のペースで漸進させる(218)。エクササイズ中は、転倒と骨折のリスクを軽減するために特別な注意を払う必要がある。バランスや立位でのエクササイズを取り入れるべきではあるが、転倒を予防するために適切な手段(補助やハンドル)を講じることが必要である。適切なフォームとテクニックを実践すること、特に動作中に捻ったり曲げたりする際や移動する際の安全に焦点を当てて特別な注意を払う(218)。さらに、頭部前方位姿勢(猫背)の矯正のための立った姿勢で行なうエクササイズ(脊椎の伸展)は、バランスの向上に役立つと思われる。エクササイズプログラムと同時に十分なカルシウムとビタミンDを摂取すること、またAmerican College of Sports Medicine(アメリカスポーツ医学会)やExercise and Sports Science Australia(オーストラリア運動スポーツ科学)によりさらに詳しく説明されているように、合併症と

安全性の問題(負荷をかけた脊椎の屈曲を避け、衝撃を緩和することなど)に対処することが推奨される(1,47)。

## 関節炎

アメリカでは、成人のおよそ4人に1人が関節炎に罹り(457)、65歳以上の高齢男性の56%と高齢女性の69%が関節炎を患っている(295)。膝関節(305)と股関節(306)の骨関節炎は最も患者の多い関節炎である。筋力の低下は、膝関節痛、障害、OA患者の関節損傷の進行に対する主な危険因子と考えられているが、修正可能である(560)。そのため、進行したOAや慢性関節リウマチおよびアライメント不良のある患者でさえ、疼痛が増したり有害事象が起こることなく、レジスタンストレーニング後に筋力の大きな増大を経験することができる(297,326,386)。

関節炎のある高齢者にとって、レジスタンストレーニングプログラムの目標は、関節可動域や筋力、および機能を改善しながら、関節痛をコントロールすることである。したがって、関節炎の患者にとってトレーニングのよくある障壁は、関節痛の悪化に対する不安である。しかし、正反対の事実が報告されている。関節炎の患者は、痛みや症状を憎悪させることなく、レジスタンストレーニングから利益を得られる(19)。トレーニングプログラムは、各自に合わせたエクササイズを選択から始まるが、それは各患者の障害に対処して処方され、その後一般的なエクササイズガイドラインへと漸進する。関節炎のある高齢者では、関節痛と関節可動域による制限がレジスタンスエクササイズを行なう能力に影響を与える可能性があるが、研究によると、中強度(50~70% 1RM)で週2~3回行なう漸進的なストレングストレーニングは、関節炎の高齢者において、より低強度のトレーニングよりも筋力と機能により大きな効果があったことが明らかになった(297,326,386)。週2~3回、中強度のエクササイズをそれぞれ6~8レップ、2~3セット、漸進的な過負荷を用いる方法で行なうレジスタンストレーニングは、関節炎の高齢者のために、American Geriatrics Society(米国老年医学会)により推奨されている(19)。ただし、関節炎があると、身体パフォーマンスや疼痛、関節可動域が日々様々に変化するため、トレーニングスケジュールは融通を利かせる必要がある。さらに、中~高強度が利益があることが示されている一方、エクササイズ中のまたはエクササイズ後1~2時間続く関節痛や関節の腫れ、疲労、あるいは衰弱などの反応がみられた場合は、エクササイズの量や強度が過剰であることを示唆し、各患者の耐性レベルを伝えていると思われる。

## 慢性疾患のためのリスクの層別化

大多数の研究は健康な高齢の男女を調査したが、レジス

タンストレーニング介入を利用する能力は、各種の病態(関節炎、がん、心臓病、整形外科疾患)に関して、一層明らかになり始めたばかりである。マルチモビディティ(すなわち2つ以上の慢性疾患が併存する状態)は、高齢者人口の増加とそれに伴う死亡率の低下に特徴づけられ、疫学転換の第3段階(少産少死)を通してますます厄介な問題となっている。テストとエクササイズ処方の目的のために、NSCAとACSMの主張に従い、診断された複数の慢性疾患をもつ高齢者のための予備的なリスク層別化を、心臓血管系のインシデントに対する一般的なリスクに基づいて実施する必要がある(2)。しかし、現在エクササイズを行なっていて何も症状がない人たちにとっては、参加前のスクリーニングは必要でないと思われ、エクササイズプログラムの開始や継続にとって不必要な障壁をもたらす可能性がある(506)。高齢者において頻繁に報告される非活動的なライフスタイルとサルコペニア肥満の高い有病率のために、多くの高齢者は、「中程度のリスク」(アテローム硬化性心臓血管系疾患[ASCVD]のリスク因子が2つある無症状の男性と女性)か、または「高リスク」(既知の心臓血管系疾患、肺疾患、または代謝系疾患、またはこれらの疾患の兆候/症状が1つ以上ある)のいずれかに分類される可能性がきわめて高い(2)。CVDの危険因子を識別することは疾病管理に必要であり、エクササイズに参加中、不運な出来事が起こる大きなリスクがある人を識別するためにも、また追加の医学的なスクリーニングを必要とする人を特定するためにも必要である。糖尿病などの慢性疾患のある人のために、NSCAとACSMはエクササイズに参加する前に、臨床的なエクササイズストレステストを行なうことを推奨している。しかし、高齢者に広くみられる身体的不活動と根本的な脆弱性を考慮すると(170,409)、すべての高齢者に筋機能の評価を行なうことが賢明であると思われる。

要するに、レジスタンストレーニングプログラムは、フレイル、移動能力制限、認知障害あるいは他の慢性疾患のある高齢者の利益となるよう応用できる。表3に、フレイル、移動能力制限、その他の慢性症状に対するエクササイズの修正をまとめて提示する。

レジスタンストレーニングプログラムは、生活支援施設や高度看護施設等に入所している高齢者に対応して調節できる(持ち運びできるトレーニング器具や座位で行なうエクササイズを選択するなど)。

生活支援施設は、介護を統合するための家庭的な環境を作り出すことによって、居住高齢者の自立性を促進することを意図している(130)。それとは反対に、老人ホームや高度看護施設は、機能的障害だけでなく、フレイル、様々な慢性疾患や合併症など重大な健康上の問題を抱えた高齢者

表3 エクササイズの調節の要点

症状	調節
フレイル	より低負荷から開始し、よりゆっくりと漸進させるが、随意的疲労の限界を超えない(8～12レップ、20～30%1RMから始め80%1RMまで漸進)。
移動運動の制限	座位で行なうエクササイズを検討する。
軽度認知障害	単純なエクササイズを選択する。追加的な指導や実演が必要な場合もある。
糖尿病	トレーニングの前後に血糖値を測定する。心臓血管系疾患、神経疾患、腎臓病、眼疾患、整形外科的制限など、併存疾患に特別な注意を払う。
骨粗鬆症	低強度から開始する。転倒防止に特に配慮しながらバランストレーニングを行なう。フォームとテクニックに集中し、曲げる動作や捻る動作に注意する。姿勢のエクササイズ(スパインエクステンション)を取り入れる。
関節痛、ROMの制限(関節炎)	関節痛、不快感および/またはROMの制限がある場合は、ダブルピンマシンを用いてROMを制限するとよい。痛みのないROMの範囲でトレーニングを行ない、トレーニング効果を達成する。
視力低下、平衡感覚とバランス(転倒)に不安、腰痛、ウェイト落下の危険	ウェイトマシンの利用を検討する(フリーウェイトは用いない)。

RM=最大挙上重量、ROM=関節可動域

を受け入れている(285)。これらの施設では、その目標は高齢者ができるだけ長期間機能的能力と自立性を保ち、可能な限り生活の質を高めることにある。しかし多くの高齢者は、入所後は介護に依存して日常生活を送るようになる(621)。結果として、これら的高齢者の身体活動への参加は劇的に減り、筋量が加速的に減少し、機能的能力が低下する(621)。サルコペニアは、地域に住む在宅高齢者により多く広まっている(252)。したがって、定期的なレジスタンストレーニングに基づく身体活動への参加は、これら的高齢者の機能的能力の維持のためにきわめて重要である。それにもかかわらず、老人ホームに入所している高齢者は、日常97%以上の時間を座位または寄りかかった姿勢で過ごし、受動的、消極的な活動(眠る、TVを見る、読む、落ち着きなく動く)で2/3の時間を過ごし、運動活動を行なう時間は1日のわずか約3%にすぎないことがデータに示されている(285)。大抵の生活支援施設や高度看護施設では、エクササイズプログラムが入所者にレクリエーションの選択肢として提供されているが、レジスタンストレーニングが、筋力や機能的能力を維持または改善するための効果的な対策だとみなされることはない(621)。

生活支援施設や高度看護施設に居住する高齢者に実施したレジスタンストレーニング介入のデータから、レジスタンストレーニングが筋量(88,167)、筋力(35,79,80,88,167,182,183,187,252,301,363,411,415,514,537,587,625)、筋持久力(187,537)、さらには歩行速度(182,301,514,587)や移動能力(35,38,79,80,88,301,363)、動的バランス(38,363,514)、階段上りのパワー(79,182,537)などを含む様々な機能的能力にプラスの効果を与えることが示されている。さらに、個人別に作成した低強度のレジスタンストレーニング(30～60%1RM)を含む多要素のエクササイズ介入を短期間(平均5日)

行なったところ、高齢者の一時的な入院に伴う機能的能力の低下を無効化することに役立ち、日常の介護に有意な利益を提供したことが示された(400)。したがって、レジスタンストレーニングは転倒の予防と自立性の維持に効果的な活動である(621)。

多くの研究から、老人ホームや類似施設において、レジスタンストレーニング介入により劇的な筋力の向上を達成できることが証明されている。研究によると、8週間のレジスタンストレーニング介入により、上半身の筋力が最大23.7%(79)と62%(350)または下半身の筋力が108%(350)と174%(183)増加したことが報告された。ただし、これらの介入はきわめて高齢の(79)、移動能力に障害のある(350)、またはフレイルの進行した(183)高齢者を対象に行なわれた。別の8週間の介入研究の報告によると、8つの筋群の複合的な筋力において、等尺性筋力が32.8%、等速性の短縮性筋力が41.2%向上した(415)。10週間のレジスタンストレーニング介入を行なった別の研究では、それぞれ57.3%(537)、74%(587)、95%(184)の筋力の向上が報告され、併せて、歩行速度(184,587)、階段上りのパワー(184,537)、シットtoスタンドのパワー(537,587)、および筋持久力(537)などの向上も報告された。最高齢者を対象とした12週間の介入研究では、1RM筋力が下半身では144%、上半身では68%、さらに下半身の等尺性筋力が23.6%、最大筋力が116%という目覚ましい向上が報告された(88)。しかし、より長い介入期間の他の研究では、12～15週間のプログラム後、20～30%のより控えめな筋力の向上が報告された(35,537,625)。適用されたレジスタンストレーニングプログラムの強度と高齢被験者の最初の機能的能力が、筋力の増大の大きさに影響を及ぼす2つの主要因子であると思われる。フレイルがより顕著な高齢者の間では、比較的



短期であっても(8~10週)、より大きな筋力の変化が達成される可能性がある。

レジスタンストレーニングの様式は、研究プロトコルの間で様々に異なる。多くの研究は、レジスタンストレーニング介入の主な様式として、単にレッグエクステンション(183,184,537)、ヒップエクステンション(183,184,587)、あるいはレッグプレスマシン(587)などのレジスタンストレーニングマシンだけによるトレーニング介入を用いた。ある研究は、等尺性筋力のトレーニングのためにレッグエクステンションマシンだけを用いた(187)。一方、他の研究は、等張性(88,350)、等速性(415)、等尺性(411)などの方法による様々なシーテッドエクササイズを用いたり、空圧式マシン(252)を用いたりした。その他にも、ラバーバンド(35,38,167,363,625)、アンクルウェイト(38,79,80)、ソフトウェイト(38,167,363)、ダンベル(35,79,80,625)などを用いた研究がある。多くの研究が座位でのエクササイズだけに選択を限定したのに対し(38,183,184,187,411,537,587,625)、スクワットやステップアップ、ランジなど、立位でのエクササイズや全身の機能的エクササイズを採用した研究はわずかであった(79,363,514)。全身の機能的エクササイズを用いたこれらの研究は、すべて、移動能力(363)、歩行速度、階段を上る速度(79,514)、動的バランス(363,514)、座位から立ち上がるパワー(79,514)などを含め、被験者の機能的能力の有意な向上を報告した。老人ホームの入所者を対象に、マシンとフリーウェイトを用いた全身のレジスタンストレーニングを比較することを目的として実施した最近の試験的研究では、これらの方法は両方とも、筋力と移動能力の改善に同程度に効果的であるとの結論を得た(301)。

多くの研究は、適用したレジスタンストレーニングプログラムの強度を報告しなかった(35,79,80,167,363)。レジスタンストレーニングの強度を報告した研究も、プロトコルと強度が様々に異なる。例えば、負荷は80% 1RM(183,184,537,587)、8~12RM(350,514)、50% 1RM(88,625)、75% 8RM(301)、最大等尺性筋力(187)、またはボルグスケールの12~14の強度(252,301)などが含まれる。老人ホームで実施した大多数のレジスタンストレーニング介入は、週3回のエクササイズセッションを用いたが(38,79,80,167,183,184,187,363,415,537,587,625)、なかには週2回だけの研究もある(35,88,252,301,411)。

要するに、レジスタンストレーニング介入は、生活支援施設や高度看護施設環境においてさえ、高齢者の筋力と機能的能力を有意に改善することが明らかになった。既知の利益は、生活支援施設や看護施設に、適切なトレーニング設備を整える動機を与えるはずである。それまでの間、これらの施設の設備の制限は、安価な持ち運び可能な器具(ラバーバンド、ソフトウェイト、アンクルウェイト、メディ

スボールなど)を利用することにより克服できると思われる。機能や移動能力に制限のある高齢者でも、座位で行なうエクササイズだけを用いるレジスタンストレーニングプログラムを行なうことにより、トレーニング適応を引き出すことが可能である。しかし全身の機能的エクササイズを用いることは、高齢者の総合的な機能的能力におそらく一層大きな影響をもたらすだろう。

関連研究において、被験者の心臓血管系の有害事象や重傷事故は報告されていない。この事実は、フレイルや機能的障害のある、きわめて高齢の老人ホームの入所者集団にとってさえ、レジスタンストレーニングが安全であることを示唆している。関連研究により報告された筋力の向上は、生活支援施設や高度看護施設で暮らす高齢者が、様々なレジスタンストレーニングのプログラムデザインに反応し、筋や神経筋の適応をもたらす能力があることを裏付けている。

このポジションステイトメントに集められ報告されたエビデンスは、レジスタンスエクササイズには高齢者にとって大きな健康利益があることを証明している。サルコペニア、筋力低下、移動能力低下、慢性疾患、傷害、早過ぎる死亡など、多くの老化のプロセスに対処する、レジスタンスエクササイズの有益性を裏付ける有力なエビデンスがある。さらに、このポジションステイトメントは、健康な高齢者や特別な配慮が必要な高齢者のために、レジスタンスエクササイズプログラムを導入する際の具体的でエビデンスに基づく実践的提言を提供している。低強度、少量のプログラムが適切な場合がある一方(フレイルまたはCVDの高齢者のための開始プログラム)、中~高強度のプログラムへの漸進により最大の利益をもたらすことも可能である。一般的な推奨は特別な状況に対する配慮とともに提供されているが、優れた実践の場においては、すべてのレジスタンスエクササイズプログラムは、それぞれの高齢者に特異的な要求や能力に適切に対応したプログラムでなければならない。◆

## References

1. American College of Sports Medicine. Osteoporosis and exercise. *Med Sci Sports Exerc* 27: i-vii, 1995.
2. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Philadelphia, PA: Lippincott William & Wilkins, 2009. pp. 400.
3. Aagaard P, Magnusson PS, Larsson B, Kjaer M, Krstrup P. Mechanical muscle function, morphology, and fiber type in lifelong trained elderly. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1989-1996, 2007.
4. Aagaard P, Suetta C, Caserotti P, Magnusson SP, Kjaer M. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: Strength training as a countermeasure. *Scand J Med Sci Sports* 20: 49-64, 2010.
5. Abney M, McPeck MS, Ober C. Broad and narrow heritabilities of quantitative traits in a founder population. *Am J Hum Genet* 68: 1302-1307, 2001.
6. Abrahim O, Rodrigues RP, Nascimento VC, et al. Single- and multiple-set

- resistance training improves skeletal and respiratory muscle strength in elderly women. *Clin Interv Aging* 9: 1775–1782, 2014.
7. Ades PA, Ballor DL, Ashikaga T, Utton JL, Nair KS. Weight training improves walking endurance in healthy elderly persons. *Ann Intern Med* 124: 568–572, 1996.
  8. International Diabetes Federation. Global Picture. In: 8th, ed. *IDF Diabetes Atlas*. Brussels, Belgium: International Diabetes Federation, 2017. pp. 40–65.
  9. Ahlqvist A, Nyfors H, Suhonen R. Factors associated with older people's independent living from the viewpoint of health and functional capacity: A register-based study. *Nurs Open* 3: 79–89, 2016.
  10. Ahtiainen JP, Hulmi JJ, Kraemer WJ, et al. Heavy resistance exercise training and skeletal muscle androgen receptor expression in younger and older men. *Steroids* 76: 183–192, 2011.
  11. Ahtiainen JP, Hulmi JJ, Lehti M, et al. Effects of resistance training on expression of IGF-I splice variants in younger and older men. *Eur J Sport Sci* 16: 1055–1063, 2016.
  12. Ahtiainen JP, Nyman K, Huhtaniemi I, et al. Effects of resistance training on testosterone metabolism in younger and older men. *Exp Gerontol* 69: 148–158, 2015.
  13. Alfaro-Acha A, Al Snih S, Raji MA, Kuo YF, Markides KS, Ottenbacher KJ. Handgrip strength and cognitive decline in older Mexican Americans. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 61: 859–865, 2006.
  14. Alley DE, Shardell MD, Peters KW, et al. Grip strength cutpoints for the identification of clinically relevant weakness. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 69: 559–566, 2014.
  15. Alvarez KJ, Kirchner S, Chu S, et al. Falls reduction and exercise training in an assisted living population. *J Aging Res* 2015: 957598, 2015.
  16. American College of Sports. American College of Sports Medicine position stand: Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 41: 687–708, 2009.
  17. American College of Sports Medicine. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 41: 687–708, 2009.
  18. Balady GJ, Foster C, Chaitman B, Froelicher ES. Position stand: automated external defibrillators in health/fitness facilities. *Med Sci Sports Exerc* 34: 561–564, 2002.
  19. American Geriatrics Society Panel on Exercise and Osteoarthritis. Exercise prescription for older adults with osteoarthritis pain: Consensus practice recommendations. A supplement to the AGS Clinical Practice Guidelines on the management of chronic pain in older adults. *J Am Geriatr Soc* 49: 808–823, 2001.
  20. Amiya E, Taya M. Is exercise training appropriate for patients with advanced heart failure receiving continuous inotropic infusion? A review. *Clin Med Insights Cardiol* 12: 1179546817751438, 2018.
  21. Amonette WE, English KL, Kraemer WJ. *Evidence-Based Practice In Exercise Science: The Six-Step Approach*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2016.
  22. Anderson DE, D'Agostino JM, Bruno AG, et al. Variations of CT-based trunk muscle attenuation by age, sex, and specific muscle. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 68: 317–323, 2013.
  23. Anthony K, Robinson K, Logan P, et al. Chair-based exercises for frail older people: A systematic review. *Biomed Res Int* 2013: 309506, 2013.
  24. Arnold CM, Sran MM, Harrison EL. Exercise for fall risk reduction in community-dwelling older adults: A systematic review. *Physiother Can* 60: 358–372, 2008.
  25. Artero EG, Ruiz JR, Ortega FB, et al. Muscular and cardiorespiratory fitness are independently associated with metabolic risk in adolescents: The HELENA study. *Pediatr Diabetes* 12: 704–712, 2011.
  26. Balagopal P, Rooyackers OE, Adey DB, Ades PA, Nair KS. Effects of aging on in vivo synthesis of skeletal muscle myosin heavy-chain and sarcoplasmic protein in humans. *Am J Physiol* 273(4 Pt 1): E790–E800, 1997.
  27. Balboa-Castillo T, Guallar-Castillon P, Leon-Munoz LM, et al. Physical activity and mortality related to obesity and functional status in older adults in Spain. *Am J Prev Med* 40: 39–46, 2011.
  28. Ballor DL, Harvey-Berino JR, Ades PA, Cryan J, Calles-Escandon J. Contrasting effects of resistance and aerobic training on body composition and metabolism after diet-induced weight loss. *Metabolism* 45: 179–183, 1996.
  29. Bamman MM, Hill VJ, Adams GR, et al. Gender differences in resistance-training-induced myofiber hypertrophy among older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 58: 108–116, 2003.
  30. Bandeen-Roche K, Xue QL, Ferrucci L, et al. Phenotype of frailty: Characterization in the women's health and aging studies. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 61: 262–266, 2006.
  31. Barber LA, Read F, Lovatt Stern J, Lichtwark G, Boyd RN. Medial gastrocnemius muscle volume in ambulant children with unilateral and bilateral cerebral palsy aged 2 to 9 years. *Dev Med Child Neurol* 58: 1146–1152, 2016.
  32. Bardenheier B, Lin J, Zhuo X, et al. Disability-free life-years lost among adults aged  $\geq 50$  Years, with and without diabetes. *Diabetes Care* 39: 1222–1229, 2016.
  33. Barnett A, Smith B, Lord SR, Williams M, Baumand A. Community-based group exercise improves balance and reduces falls in at-risk older people: A randomised controlled trial. *Age Ageing* 32: 407–414, 2003.
  34. Barry BK, Warman GE, Carson RG. Age-related differences in rapid muscle activation after rate of force development training of the elbow flexors. *Exp Brain Res* 162: 122–132, 2005.
  35. Barthalos I, Dorgo S, KopkANE Plachy J, et al. Randomized controlled resistance training based physical activity trial for central European nursing home residing older adults. *J Sports Med Phys Fitness* 56: 1249–1257, 2016.
  36. Basaria S. Reproductive aging in men. *Endocrinol Metab Clin North Am* 42: 255–270, 2013.
  37. Bassey EJ, Fiatarone MA, O'Neill EF, et al. Leg extensor power and functional performance in very old men and women. *Clin Sci (Lond)* 82: 321–327, 1992.
  38. Baum EE, Jarjoura D, Polen AE, Faur D, Rutecki G. Effectiveness of a group exercise program in a long-term care facility: A randomized pilot trial. *J Am Med Dir Assoc* 4: 74–80, 2003.
  39. Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol* 147: 755–763, 1998.
  40. Bautmans I, Njemi R, Vasseur S, et al. Biochemical changes in response to intensive resistance exercise training in the elderly. *Gerontology* 51: 253–265, 2005.
  41. Baylis D, Ntani G, Edwards MH, et al. Inflammation, telomere length, and grip strength: A 10-year longitudinal study. *Calcif Tissue Int* 95: 54–63, 2014.
  42. Bean JF, Herman S, Kiely DK, et al. Increased Velocity Exercise Specific to Task (InVEST) training: A pilot study exploring effects on leg power, balance, and mobility in community-dwelling older women. *J Am Geriatr Soc* 52: 799–804, 2004.
  43. Bean JF, Kiely DK, Herman S, et al. The relationship between leg power and physical performance in mobility-limited older people. *J Am Geriatr Soc* 50: 461–467, 2002.
  44. Bean JF, Kiely DK, LaRose S, et al. Increased velocity exercise specific to task training versus the National Institute on Aging's strength training program: Changes in limb power and mobility. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 64: 983–991, 2009.
  45. Bean JF, Leveille SG, Kiely DK, et al. A comparison of leg power and leg strength within the InCHIANTI study: Which influences mobility more? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 58: 728–733, 2003.
  46. Beasley LE, Koster A, Newman AB, et al. Inflammation and race and gender differences in computerized tomography-measured adipose depots. *Obesity (Silver Spring)* 17: 1062–1069, 2009.
  47. Beck BR, Daly RM, Singh MA, Taaffe DR. Exercise and Sports Science Australia (ESSA) position statement on exercise prescription for the prevention and management of osteoporosis. *J Sci Med Sport* 20: 438–445, 2017.
  48. Beck LH. The aging kidney. Defending a delicate balance of fluid and electrolytes. *Geriatrics* 55: 26–28, 2000: 31–2.
  49. Beltran-Sanchez H, Jimenez MP, Subramanian SV. Assessing morbidity compression in two cohorts from the Health and Retirement Study. *J*

- Epidemiol Community Health* 70: 1011–1016, 2016.
50. Bemben DA, Fetters NL, Bemben MG, Nabavi N, Koh ET. Musculoskeletal responses to high- and low-intensity resistance training in early postmenopausal women. *Med Sci Sports Exerc* 32: 1949–1957, 2000.
  51. Bemben MG, Massey BH, Bemben DA, Misner JE, Boileau RA. Isometric muscle force production as a function of age in healthy 20- to 74-yr-old men. *Med Sci Sports Exerc* 23: 1302–1310, 1991.
  52. Ben-Shlomo Y, Cooper R, Kuh D. The last two decades of life course epidemiology, and its relevance for research on ageing. *Int J Epidemiol* 45: 973–988, 2016.
  53. Beneka A, Malliou P, Fatouros I, et al. Resistance training effects on muscular strength of elderly are related to intensity and gender. *J Sci Med Sport* 8: 274–283, 2005.
  54. Bento PC, Pereira G, Ugrinowitsch C, Rodacki AL. Peak torque and rate of torque development in elderly with and without fall history. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 25: 450–454, 2010.
  55. Bergman H, Ferrucci L, Guralnik J, et al. Frailty: An emerging research and clinical paradigm—issues and controversies. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 62: 731–737, 2007.
  56. Berzlanovich AM, Schopfer J, Keil W. Deaths due to physical restraint. *Dtsch Arztebl Int* 109: 27–32, 2012.
  57. Bessa B, de Oliveira Leal V, Moraes C, et al. Resistance training in hemodialysis patients: A review. *Rehabil Nurs* 40: 111–126, 2015.
  58. Beyer N, Suetta C. Older patients should be offered strength training early post surgery [in Danish]. *Ugeskr Laeger* 175: 2421–2424, 2013.
  59. Bhattacharya RK, Bhattacharya SB. Late-onset hypogonadism and testosterone replacement in older men. *Clin Geriatr Med* 31: 631–644, 2015.
  60. Bilodeau M, Henderson TK, Nolte BE, Pursley PJ, Sandfort GL. Effect of aging on fatigue characteristics of elbow flexor muscles during sustained submaximal contraction. *J Appl Physiol* (1985) 91: 2654–2664, 2001.
  61. Binder EF, Birge SJ, Spina R, et al. Peak aerobic power is an important component of physical performance in older women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 54: M353–M356, 1999.
  62. Binder EF, Schechtman KB, Ehsani AA, et al. Effects of exercise training on frailty in community-dwelling older adults: Results of a randomized, controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 50: 1921–1928, 2002.
  63. Binder EF, Yarasheski KE, Steger-May K, et al. Effects of progressive resistance training on body composition in frail older adults: Results of a randomized, controlled trial. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 60: 1425–1431, 2005.
  64. Blazer DG. Depression in late life: Review and commentary. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 58: 249–265, 2003.
  65. Bodart G, Goffinet L, Morrhaye G, et al. Somatotrope GHRH/GH/IGF-1 axis at the crossroads between immunosenescence and frailty. *Ann NY Acad Sci* 1351: 61–67, 2015.
  66. Borde R, Hortobagyi T, Granacher U. Dose-response relationships of resistance training in healthy old adults: A systematic review and metaanalysis. *Sports Med* 45: 1693–1720, 2015.
  67. Borst SE, Vincent KR, Lowenthal DT, Braith RW. Effects of resistance training on insulin-like growth factor and its binding proteins in men and women aged 60 to 85. *J Am Geriatr Soc* 50: 884–888, 2002.
  68. Bosco C, Komi PV. Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 45: 209–219, 1980.
  69. Boshuizen HC, Stemmerik L, Westhoff MH, Hopman-Rock M. The effects of physical therapists' guidance on improvement in a strength training program for the frail elderly. *J Aging Phys Act* 13: 5–22, 2005.
  70. Boslaugh SE, Andresen EM. Peer reviewed: Correlates of physical activity for adults with disability. *Preventing Chronic Disease* 3: A78, 2006.
  71. Bottaro M, Machado SN, Nogueira W, Scales R, Veloso J. Effect of high versus low-velocity resistance training on muscular fitness and functional performance in older men. *Eur J Appl Physiol* 99: 257–264, 2007.
  72. Bouchard C, Rankinen T. Individual differences in response to regular physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 33(6 Suppl): S446–S451, 2001; discussion S52–3.
  73. Boule NG, Haddad E, Kenny GP, Wells GA, Sigal RJ. Effects of exercise on glycemic control and body mass in type 2 diabetes mellitus: A metaanalysis of controlled clinical trials. *JAMA* 286: 1218–1227, 2001.
  74. Boyle PA, Buchman AS, Wilson RS, Leurgans SE, Bennett DA. Association of muscle strength with the risk of Alzheimer disease and the rate of cognitive decline in community-dwelling older persons. *Arch Neurol* 66: 1339–1344, 2009.
  75. Braith RW, Stewart KJ. Resistance exercise training: Its role in the prevention of cardiovascular disease. *Circulation* 113: 2642–2650, 2006.
  76. Bray NW, Smart RR, Jakobi JM, Jones GR. Exercise prescription to reverse frailty. *Appl Physiol Nutr Metab* 41: 1112–1116, 2016.
  77. Bredella MA, Gill CM, Gerweck AV, et al. Ectopic and serum lipid levels are positively associated with bone marrow fat in obesity. *Radiology* 269: 534–541, 2013.
  78. Brentano MA, Cadore EL, Da Silva EM, et al. Physiological adaptations to strength and circuit training in postmenopausal women with bone loss. *J Strength Cond Res* 22: 1816–1825, 2008.
  79. Brill PA, Jensen RL, Koltyn KF, et al. The feasibility of conducting a group-based progressive strength training program in residents of a multi-level care facility. *Act Adapt Aging* 22: 53–63, 1997.
  80. Brill PA, Matthews M, Mason J, et al. Improving functional performance through a group-based free weight strength training program in residents of two assisted living communities. *Phys Occup Ther Geriatr* 15: 57–69, 1998.
  81. Brochu M, Savage P, Lee M, et al. Effects of resistance training on physical function in older disabled women with coronary heart disease. *J Appl Physiol (1985)* 92: 672–678, 2002.
  82. Brook RD, Appel LJ, Rubenfire M, et al. Beyond medications and diet: Alternative approaches to lowering blood pressure: A scientific statement from the American Heart Association. *Hypertension* 61: 1360–1383, 2013.
  83. Brooks N, Layne JE, Gordon PL, et al. Strength training improves muscle quality and insulin sensitivity in Hispanic older adults with type 2 diabetes. *Int J Med Sci* 4: 19–27, 2006.
  84. Brown AB, McCartney N, Sale DG. Positive adaptations to weight-lifting training in the elderly. *J Appl Physiol (1985)* 69: 1725–1733, 1990.
  85. Buchman AS, Wilson RS, Boyle PA, Bienias JL, Bennett DA. Grip strength and the risk of incident Alzheimer's disease. *Neuroepidemiology* 29: 66–73, 2007.
  86. Burton E, Farrier K, Lewin G, et al. Motivators and barriers for older people participating in resistance training: A systematic review. *J Aging Phys Act* 25: 311–324, 2017.
  87. Bweir S, Al-Jarrah M, Almalaty AM, et al. Resistance exercise training lowers HbA1c more than aerobic training in adults with type 2 diabetes. *Diabetol Metab Syndr* 1: 27, 2009.
  88. Cadore EL, Casas-Herrero A, Zambom-Ferraresi F, et al. Multicomponent exercises including muscle power training enhance muscle mass, power output, and functional outcomes in institutionalized frail nonagenarians. *Age (Dordr)* 36: 773–785, 2014.
  89. Cadore EL, Izquierdo M. New strategies for the concurrent strength-, power-, and endurance-training prescription in elderly individuals. *J Am Med Dir Assoc* 14: 623–624, 2013.
  90. Cadore EL, Izquierdo M. Exercise interventions in polypathological aging patients that coexist with diabetes mellitus: Improving functional status and quality of life. *Age (Dordr)* 37: 64, 2015.
  91. Cadore EL, Izquierdo M, Pinto SS, et al. Neuromuscular adaptations to concurrent training in the elderly: Effects of intrasession exercise sequence. *Age (Dordr)* 35: 891–903, 2013.
  92. Cadore EL, Menger E, Teodoro JL, et al. Functional and physiological adaptations following concurrent training using sets with and without concentric failure in elderly men: A randomized clinical trial. *Exp Gerontol* 110: 182–190, 2018.
  93. Cadore EL, Moneo AB, Mensat MM, et al. Positive effects of resistance training in frail elderly patients with dementia after long-term physical restraint. *Age (Dordr)* 36: 801–811, 2014.
  94. Cadore EL, Pinto RS, Bottaro M, Izquierdo M. Strength and endurance training prescription in healthy and frail elderly. *Aging Dis* 5: 183–195, 2014.
  95. Cadore EL, Pinto RS, Lhullier FL, et al. Physiological effects of concurrent training in elderly men. *Int J Sports Med* 31: 689–697, 2010.
  96. Cadore EL, Rodriguez-Manas L, Sinclair A, Izquierdo M. Effects of



- different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: A systematic review. *Rejuvenation Res* 16: 105-114, 2013.
97. Calella P, Hernandez-Sanchez S, Garofalo C, Ruiz JR, Carrero JJ, Bellizzi V. Exercise training in kidney transplant recipients: A systematic review. *J Nephrol* 2019. Epub ahead of print.
  98. Calle MC, Fernandez ML. Effects of resistance training on the inflammatory response. *Nutr Res Pract* 4: 259-269, 2010.
  99. Campbell AJ, Borrie MJ, Spears GF. Risk factors for falls in a community-based prospective study of people 70 years and older. *J Gerontol* 44: M112-M117, 1989.
  100. Campbell AJ, Buchner DM. Unstable disability and the fluctuations of frailty. *Age Ageing* 26: 315-318, 1997.
  101. Campbell WW, Crim MC, Young VR, Evans WJ. Increased energy requirements and changes in body composition with resistance training in older adults. *Am J Clin Nutr* 60: 167-175, 1994.
  102. Candow DG, Chilibeck PD, Facci M, Abeysekara S, Zello GA. Protein supplementation before and after resistance training in older men. *Eur J Appl Physiol* 97: 548-556, 2006.
  103. Carmelli D, Reed T. Stability and change in genetic and environmental influences on hand-grip strength in older male twins. *J Appl Physiol (1985)* 89: 1879-1883, 2000.
  104. Carruthers M. Testosterone deficiency syndrome: Cellular and molecular mechanism of action. *Curr Aging Sci* 6: 115-124, 2013.
  105. Casas-Herrero A, Cadore EL, Zamboni-Ferraresi F, et al. Functional capacity, muscle fat infiltration, power output, and cognitive impairment in institutionalized frail oldest old. *Rejuvenation Res* 16: 396-403, 2013.
  106. Casas Herrero A, Cadore EL, Martinez Velilla N, Izquierdo Redin M. Physical exercise in the frail elderly: An update [in Spanish]. *Rev Esp Geriatr Gerontol* 50: 74-81, 2015.
  107. Caserotti P, Aagaard P, Larsen JB, Puggaard L. Explosive heavy resistance training in old and very old adults: Changes in rapid muscle force, strength and power. *Scand J Med Sci Sports* 18: 773-782, 2008.
  108. Cassilhas RC, Antunes HK, Tufik S, de Mello MT. Mood, anxiety, and serum IGF-1 in elderly men given 24 weeks of high resistance exercise. *Percept Mot Skills* 110: 265-276, 2010.
  109. Castaneda C, Layne JE, Munoz-Orians L, et al. A randomized controlled trial of resistance exercise training to improve glycemic control in older adults with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 25: 2335-2341, 2002.
  110. CDC—Centers for Disease Control and Prevention. Vital signs: Awareness and treatment of uncontrolled hypertension among adults—United States, 2003-2010. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 61: 703-709, 2012.
  111. CDC. *Falls Among Older Adults: An Overview*. Centers for Disease Control and Prevention. Atlanta, Georgia: National Center for Injury Prevention and Control, Division of Unintentional Injury Prevention, 2014.
  112. Centers for Disease Control and Prevention. *National Diabetes Statistics Report, 2017*. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention, US Department of Health and Human Services; 2017.
  113. Centers for Disease C, Prevention. Self-reported falls and fall-related injuries among persons aged  $\geq 65$  years—United States, 2006. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 57: 225-229, 2008.
  114. Cervantes CM, Taylor WC. Physical activity interventions in adult populations with disabilities: A review. *Quest* 63: 385-410, 2011.
  115. Charette SL, McEvoy L, Pyka G, et al. Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. *J Appl Physiol (1985)* 70: 1912-1916, 1991.
  116. Cheema B, Abas H, Smith B, et al. Progressive exercise for anabolism in kidney disease (PEAK): A randomized, controlled trial of resistance training during hemodialysis. *J Am Soc Nephrol* 18: 1594-1601, 2007.
  117. Cheema BS, Chan D, Fahey P, Atlantis E. Effect of progressive resistance training on measures of skeletal muscle hypertrophy, muscular strength and health-related quality of life in patients with chronic kidney disease: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 44: 1125-1138, 2014.
  118. Chen HT, Chung YC, Chen YJ, Ho SY, Wu HJ. Effects of different types of exercise on body composition, muscle strength, and IGF-1 in the elderly with sarcopenic obesity. *J Am Geriatr Soc* 65: 827-832, 2017.
  119. Chen KM, Kuo CC, Chang YH, Huang HT, Cheng YY. Resistance band exercises reduce depression and behavioral problems of wheelchairbound older adults with dementia: A cluster-randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 65: 356-363, 2017.
  120. Chiu SC, Yang RS, Yang RJ, Chang SF. Effects of resistance training on body composition and functional capacity among sarcopenic obese residents in long-term care facilities: A preliminary study. *BMC Geriatr* 18: 21, 2018.
  121. Chou CH, Hwang CL, Wu YT. Effect of exercise on physical function, daily living activities, and quality of life in the frail older adults: A metaanalysis. *Arch Phys Med Rehabil* 93: 237-244, 2012.
  122. Clark AL, Volterrani M, Swan JW, Coats AJ. The increased ventilatory response to exercise in chronic heart failure: Relation to pulmonary pathology. *Heart* 77: 138-146, 1997.
  123. Clark BC, Manini TM. Sarcopenia<sup>5</sup>/dynamyenia. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 63: 829-834, 2008.
  124. Clark BC, Manini TM. Functional consequences of sarcopenia and dynamyenia in the elderly. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 13: 271-276, 2010.
  125. Clemson L, Fiatarone Singh MA, Bundy A, et al. Integration of balance and strength training into daily life activity to reduce rate of falls in older people (the LiFE study): Randomised parallel trial. *BMJ* 345: e4547, 2012.
  126. Cohen A, Dempster DW, Recker RR, et al. Abdominal fat is associated with lower bone formation and inferior bone quality in healthy premenopausal women: A transiliac bone biopsy study. *J Clin Endocrinol Metab* 98: 2562-2572, 2013.
  127. Cohen DD, Gomez-Arbelaez D, Camacho PA, et al. Low muscle strength is associated with metabolic risk factors in Colombian children: The ACFIES study. *PLoS One* 9: e93150, 2014.
  128. Colberg SR, Sigal RJ, Yardley JE, et al. Physical activity/exercise and diabetes: A position statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care* 39: 2065-2079, 2016.
  129. Colcombe S, Kramer AF. Fitness effects on the cognitive function of older adults: A meta-analytic study. *Psychol Sci* 14: 125-130, 2003.
  130. Coleman BJ. European models of long-term care in the home and community. *Int J Health Serv* 25: 455-474, 1995.
  131. Compston J, Watts N, Chapurlat R, et al. Obesity is not protective against fracture in postmenopausal women. *Am J Med* 124: 1043-1050, 2011.
  132. Conlon JA, Newton RU, Tufano JJ, et al. The efficacy of periodised resistance training on neuromuscular adaptation in older adults. *Eur J Appl Physiol* 117: 1181-1194, 2017.
  133. Control CfD, Prevention. Physical activity among adults with a disability—United States, 2005. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 56: 1021, 2007.
  134. Coresh J, Astor BC, Greene T, Eknoyan G, Levey AS. Prevalence of chronic kidney disease and decreased kidney function in the adult US population: Third National Health and Nutrition Examination Survey. *Am J Kidney Dis* 41: 1-12, 2003.
  135. Coresh J, Selvin E, Stevens LA, et al. Prevalence of chronic kidney disease in the United States. *JAMA* 298: 2038-2047, 2007.
  136. Cornelissen VA, Fagard RH. Effect of resistance training on resting blood pressure: A meta-analysis of randomized controlled trials. *J Hypertens* 23: 251-259, 2005.
  137. Craig BW, Brown R, Everhart J. Effects of progressive resistance training on growth hormone and testosterone levels in young and elderly subjects. *Mech Ageing Dev* 49: 159-169, 1989.
  138. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, et al. Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing* 48: 16-31, 2018.
  139. Cruz-Jentoft AJ, Landi F, Schneider SM, et al. Prevalence of and interventions for sarcopenia in ageing adults: A systematic review. Report of the International Sarcopenia initiative (EWGSOP and IWGS). *Age Ageing* 43: 748-759, 2014.
  140. Csapo R, Alegre LM. Effects of resistance training with moderate vs heavy loads on muscle mass and strength in the elderly: A meta-analysis.

- Scand J Med Sci Sports* 26: 995–1006, 2016.
141. da Silva LXXN, Teodoro JL, Menger E, et al. Repetitions to failure versus not to failure during concurrent training in healthy elderly men: A randomized clinical trial. *Exp Gerontol* 108: 18–27, 2018.
  142. Dalsky GP, Stocke KS, Ehsani AA, et al. Weight-bearing exercise training and lumbar bone mineral content in postmenopausal women. *Ann Intern Med* 108: 824–828, 1988.
  143. Daly M, Vidt ME, Eggebeen JD, et al. Upper extremity muscle volumes and functional strength after resistance training in older adults. *J Aging Phys Act* 21: 186–207, 2013.
  144. Damush TM, Damush JG Jr. The effects of strength training on strength and health-related quality of life in older adult women. *Gerontologist* 39: 705–710, 1999.
  145. Dardevet D, Sornet C, Balage M, Grizard J. Stimulation of in vitro rat muscle protein synthesis by leucine decreases with age. *J Nutr* 130: 2630–2635, 2000.
  146. Davidson LE, Hudson R, Kilpatrick K, et al. Effects of exercise modality on insulin resistance and functional limitation in older adults: A randomized controlled trial. *Arch Intern Med* 169: 122–131, 2009.
  147. de Boer MD, Morse CI, Thom JM, de Haan A, Narici MV. Changes in antagonist muscles' coactivation in response to strength training in older women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 62: 1022–1027, 2007.
  148. De Luca CJ, Contessa P. Hierarchical control of motor units in voluntary contractions. *J Neurophysiol* 107: 178–195, 2012.
  149. de Rezende LFM, Rey-Lopez JP, Matsudo VKR, do Carmo Luiz O. Sedentary behavior and health outcomes among older adults: A systematic review. *BMC Public Health* 14: 333, 2014.
  150. de Vos NJ, Singh NA, Ross DA, et al. Optimal load for increasing muscle power during explosive resistance training in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 60: 638–647, 2005.
  151. de Vreede PL, Samson MM, van Meeteren NL, Duursma SA, Verhaar HJ. Functional-task exercise versus resistance strength exercise to improve daily function in older women: A randomized, controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 53: 2–10, 2005.
  152. de Vreede PL, van Meeteren NL, Samson MM, et al. The effect of functional tasks exercise and resistance exercise on health-related quality of life and physical activity. A randomised controlled trial. *Gerontology* 53: 12–20, 2007.
  153. de Vries NM, van Ravensberg CD, Hobbelen JS, et al. Effects of physical exercise therapy on mobility, physical functioning, physical activity and quality of life in community-dwelling older adults with impaired mobility, physical disability and/or multi-morbidity: A meta-analysis. *Ageing Res Rev* 11: 136–149, 2012.
  154. DeBeliso M, Harris C, Spitzer-Gibson T, Adams KJ. A comparison of periodised and fixed repetition training protocol on strength in older adults. *J Sci Med Sport* 8: 190–199, 2005.
  155. Delmonico MJ, Harris TB, Visser M, et al. Longitudinal study of muscle strength, quality, and adipose tissue infiltration. *Am J Clin Nutr* 90: 1579–1585, 2009.
  156. Despres JP. Body fat distribution and risk of cardiovascular disease: An update. *Circulation* 126: 1301–1313, 2012.
  157. Despres JP, Lemieux I. Abdominal obesity and metabolic syndrome. *Nature* 444: 881–887, 2006.
  158. Despres JP, Lemieux I, Bergeron J, et al. Abdominal obesity and the metabolic syndrome: Contribution to global cardiometabolic risk. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 28: 1039–1049, 2008.
  159. Diamanti-Kandarakis E, Dattilo M, Macut D, et al. Mechanisms in endocrinology: Aging and anti-aging: A combo-endocrinology overview. *Eur J Endocrinol* 176: R283–R308, 2017.
  160. DiFrancisco-Donoghue J, Werner W, Douris PC. Comparison of once-weekly and twice-weekly strength training in older adults. *Br J Sports Med* 41: 19–22, 2007.
  161. Ditroilo M, Forte R, Benelli P, Gambarara D, De Vito G. Effects of age and limb dominance on upper and lower limb muscle function in healthy males and females aged 40–80 years. *J Sports Sci* 28: 667–677, 2010.
  162. Dobek JC, White KN, Gunter KB. The effect of a novel ADL-based training program on performance of activities of daily living and physical fitness. *J Aging Phys Act* 15: 13–25, 2007.
  163. Doherty TJ, Brown WF. The estimated numbers and relative sizes of thenar motor units as selected by multiple point stimulation in young and older adults. *Muscle Nerve* 16: 355–366, 1993.
  164. Doherty TJ, Stashuk DW, Brown WF. Determinants of mean motor unit size: Impact on estimates of motor unit number. *Muscle Nerve* 16: 1326–1331, 1993.
  165. Doherty TJ, Vandervoort AA, Brown WF. Effects of ageing on the motor unit: A brief review. *Can J Appl Physiol* 18: 331–358, 1993.
  166. Doherty TJ, Vandervoort AA, Taylor AW, Brown WF. Effects of motor unit losses on strength in older men and women. *J Appl Physiol (1985)* 74: 868–874, 1993.
  167. Dornier T, Kranz A, Zettl-Wiedner K, Ludwig C, Rieder A, Gisinger C. The effect of structured strength and balance training on cognitive function in frail, cognitive impaired elderly long-term care residents. *Ageing Clin Exp Res* 19: 400–405, 2007.
  168. Downs SH, Black N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and nonrandomised studies of health care interventions. *J Epidemiol Community Health* 52: 377–384, 1998.
  169. Duchateau J, Enoka RM. Human motor unit recordings: Origins and insight into the integrated motor system. *Brain Res* 1409: 42–61, 2011.
  170. Duchowny KA, Peterson MD, Clarke PJ. Cut points for clinical muscle weakness among older Americans. *Am J Prev Med* 53: 63–69, 2017.
  171. Dunstan DW, Daly RM, Owen N, et al. High-intensity resistance training improves glycemic control in older patients with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 25: 1729–1736, 2002.
  172. Evans JW. Periodized resistance training for enhancing skeletal muscle hypertrophy and strength: A mini-review. *Front Physiol* 10: 13, 2019.
  173. Evans W. Functional and metabolic consequences of sarcopenia. *J Nutr* 127(5 Suppl): 998S–1003S, 1997.
  174. Evans WJ. Effects of exercise on senescent muscle. *Clin Orthop Relat Res* (403 Suppl): S211–S220, 2002.
  175. Fabbri E, An Y, Gonzalez-Freire M, et al. Bioavailable testosterone linearly declines over a wide age spectrum in men and women from the Baltimore longitudinal study of aging. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 71: 1202–1209, 2016.
  176. Fagard RH. Epidemiology of hypertension in the elderly. *Am J Geriatr Cardiol* 11: 23–28, 2002.
  177. Fatouros IG, Kambas A, Katrabasas I, et al. Resistance training and detraining effects on flexibility performance in the elderly are intensity-dependent. *J Strength Cond Res* 20: 634–642, 2006.
  178. Fatouros IG, Taxildaris K, Tokmakidis SP, et al. The effects of strength training, cardiovascular training and their combination on flexibility of inactive older adults. *Int J Sports Med* 23: 112–119, 2002.
  179. Featherstone JF, Holly RG, Amsterdam EA. Physiologic responses to weight lifting in coronary artery disease. *Am J Cardiol* 71: 287–292, 1993.
  180. Ferrari R, Krueger LF, Cadore EL, et al. Efficiency of twice weekly concurrent training in trained elderly men. *Exp Gerontol* 48: 1236–1242, 2013.
  181. Ferri A, Scaglioni G, Pousson M, Capodaglio P, Van Hoecke J, Narici MV. Strength and power changes of the human plantar flexors and knee extensors in response to resistance training in old age. *Acta Physiol Scand* 177: 69–78, 2003.
  182. Fiatarone MA, Kehayias JJ, Roberts SB, et al. Exercise training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly people. *New Engl J Med* 330: 1769–1775, 1994.
  183. Fiatarone MA, Marks EC, Ryan ND, Meredith CN, Lipsitz LA, Evans WJ. High-intensity strength training in nonagenarians. Effects on skeletal muscle. *JAMA* 263: 3029–3034, 1990.
  184. Fiatarone MA, O'Neill EF, Ryan ND, et al. Exercise training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly people. *N Engl J Med* 330: 1769–1775, 1994.
  185. Fiatarone Singh MA, Gates N, Saigal N, et al. The study of mental and resistance training (SMART) study-resistance training and/or cognitive training in mild cognitive impairment: A randomized, double-blind, double-blind controlled trial. *J Am Med Dir Assoc* 15: 873–880, 2014.

186. Fielding RA, LeBrasseur NK, Cuoco A, Bean J, Mizer K, Fiatarone Singh MA. High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *J Am Geriatr Soc* 50: 655–662, 2002.
187. Fisher NM, Pendergast DR, Calkins E. Muscle rehabilitation in impaired elderly nursing home residents. *Arch Phys Med Rehabil* 72: 181–185, 1991.
188. Fleg JL, Cooper LS, Borlaug BA, et al. Exercise training as therapy for heart failure: Current status and future directions. *Circ Heart Fail* 8: 209–220, 2015.
189. Flegal KM, Kruszon-Moran D, Carroll MD, Fryar CD, Ogden CL. Trends in obesity among adults in the United States, 2005 to 2014. *JAMA* 315: 2284–2291, 2016.
190. Foldvari M, Clark M, Laviolette LC, et al. Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 55: M192–M199, 2000.
191. Forman-Hoffman VL, Ault KL, Anderson WL, et al. Disability status, mortality, and leading causes of death in the United States community population. *Med Care* 53: 346, 2015.
192. Fragala MS, Alley DE, Shardell MD, et al. Comparison of handgrip and leg extension strength in predicting slow gait speed in older adults. *J Am Geriatr Soc* 64: 144–150, 2016.
193. Franceschi C, Campisi J. Chronic inflammation (inflammaging) and its potential contribution to age-associated diseases. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 69 (Suppl 1): S4–S9, 2014.
194. Frederiksen H, Gaist D, Petersen HC, et al. Hand grip strength: A phenotype suitable for identifying genetic variants affecting mid- and late-life physical functioning. *Genet Epidemiol* 23: 110–122, 2002.
195. Freiberger E, Haberle L, Spirduso WW, Zijlstra GA. Long-term effects of three multicomponent exercise interventions on physical performance and fall-related psychological outcomes in community-dwelling older adults: A randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 60: 437–446, 2012.
196. Fried LP, Tangen CM, Walston J, et al. Frailty in older adults: Evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 56: M146–M156, 2001.
197. Frontera WR. What is it about old muscles? *J Physiol* 595: 4581–4582, 2017.
198. Frontera WR, Bean JF, Damiano D, et al. Rehabilitation research at the National Institutes of Health: Moving the field forward (executive summary). *Arch Phys Med Rehabil* 98: 795–803, 2017.
199. Frontera WR, Hughes VA, Fielding RA, et al. Aging of skeletal muscle: A 12-yr longitudinal study. *J Appl Physiol* (1985) 88: 1321–1326, 2000.
200. Frontera WR, Hughes VA, Lutz KJ, Evans WJ. A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *J Appl Physiol* (1985) 71: 644–650, 1991.
201. Frontera WR, Meredith CN, O’Reilly KP, Knuttgen HG, Evans WJ. Strength conditioning in older men: Skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol* (1985) 64: 1038–1044, 1988.
202. Frontera WR, Suh D, Krivickas LS, Hughes VA, Goldstein R, Roubenoff R. Skeletal muscle fiber quality in older men and women. *Am J Physiol Cell Physiol* 279: C611–C618, 2000.
203. Fyfe JJ, Bishop DJ, Stepto NK. Interference between concurrent resistance and endurance exercise: Molecular bases and the role of individual training variables. *Sports Med* 44: 743–762, 2014.
204. Gadelha AB, Paiva FM, Gauche R, de Oliveira RJ, Lima RM. Effects of resistance training on sarcopenic obesity index in older women: A randomized controlled trial. *Arch Gerontol Geriatr* 65: 168–173, 2016.
205. Gaffey AE, Bergeman CS, Clark LA, Wirth MM. Aging and the HPA axis: Stress and resilience in older adults. *Neurosci Biobehav Rev* 68: 928–945, 2016.
206. Gallagher D, Kelley DE, Yim JE, et al. Adipose tissue distribution is different in type 2 diabetes. *Am J Clin Nutr* 89: 807–814, 2009.
207. Gallagher D, Visser M, De Meersman RE, et al. Appendicular skeletal muscle mass: Effects of age, gender, and ethnicity. *J Appl Physiol* (1985) 83: 229–239, 1997.
208. Galvao DA, Newton RU, Taaffe DR. Anabolic responses to resistance training in older men and women: A brief review. *J Aging Phys Act* 13: 343–358, 2005.
209. Galvao DA, Taaffe DR. Resistance exercise dosage in older adults: Single-versus multiset effects on physical performance and body composition. *J Am Geriatr Soc* 53: 2090–2097, 2005.
210. Garatachea N, Lucia A. Genes and the ageing muscle: A review on genetic association studies. *Age (Dordr)* 35: 207–233, 2013.
211. Garcia-Garcia FJ, Gutierrez Avila G, Alfaro-Acha A, et al. The prevalence of frailty syndrome in an older population from Spain. The Toledo Study for Healthy Aging. *J Nutr Health Aging* 15: 852–856, 2011.
212. Gassen NC, Chrousos GP, Binder EB, Zannas AS. Life stress, glucocorticoid signaling, and the aging epigenome: Implications for aging-related diseases. *Neurosci Biobehav Rev* 74: 356–365, 2017.
213. Gatti R, De Palo EF, Antonelli G, Spinella P. IGF-I/IGFBP system: Metabolism outline and physical exercise. *J Endocrinol Invest* 35: 699–707, 2012.
214. Gauche R, Lima RM, Myers J, et al. Blood pressure reactivity to mental stress is attenuated following resistance exercise in older hypertensive women. *Clin Interv Aging* 12: 793–803, 2017.
215. Gell NM, Wallace RB, LaCroix AZ, Mroz TM, Patel KV. Mobility device use in older adults and incidence of falls and worry about falling: Findings from the 2011–2012 national health and aging trends study. *J Am Geriatr Soc* 63: 853–859, 2015.
216. Gerstner GR, Thompson BJ, Rosenberg JG, et al. Neural and muscular contributions to the age-related reductions in rapid strength. *Med Sci Sports Exerc* 49: 1331–1339, 2017.
217. Ghadieh AS, Saab B. Evidence for exercise training in the management of hypertension in adults. *Can Fam Physician* 61: 233–239, 2015.
218. Giangregorio LM, Papaioannou A, Macintyre NJ, et al. Too fit to fracture: Exercise recommendations for individuals with osteoporosis or osteoporotic vertebral fracture. *Osteoporos Int* 25: 821–835, 2014.
219. Gilbert KL, Stokes KA, Hall GM, Thompson D. Growth hormone responses to 3 different exercise bouts in 18- to 25- and 40- to 50-year-old men. *Appl Physiol Nutr Metab* 33: 706–712, 2008.
220. Giné-Garriga M, Guerra M, Pages E, et al. The effect of functional circuit training on physical frailty in frail older adults: A randomized controlled trial. *J Aging Phys Act* 18: 401–424, 2010.
221. Gonzalez AM, Mangine GT, Fragala MS, et al. Resistance training improves single leg stance performance in older adults. *Aging Clin Exp Res* 26: 89–92, 2014.
222. Goodpaster BH, Carlson CL, Visser M, et al. Attenuation of skeletal muscle and strength in the elderly: The Health ABC Study. *J Appl Physiol* 90: 2157–2165, 2001.
223. Goodpaster BH, Chomentowski P, Ward BK, et al. Effects of physical activity on strength and skeletal muscle fat infiltration in older adults: A randomized controlled trial. *J Appl Physiol* (1985) 105: 1498–1503, 2008.
224. Goodpaster BH, Kelley DE, Thaete FL, He J, Ross R. Skeletal muscle attenuation determined by computed tomography is associated with skeletal muscle lipid content. *J Appl Physiol* 89: 104–110, 2000.
225. Goodpaster BH, Park SW, Harris TB, et al. The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: The health, aging and body composition study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 61: 1059–1064, 2006.
226. Goodpaster BH, Thaete FL, Kelley DE. Thigh adipose tissue distribution is associated with insulin resistance in obesity and in type 2 diabetes mellitus. *Am J Clin Nutr* 71: 885–892, 2000.
227. Gordon NF, Kohl HW III, Pollock ML, et al. Cardiovascular safety of maximal strength testing in healthy adults. *Am J Cardiol* 76: 851–853, 1995.
228. Gordon SE, Kraemer WJ, Looney DP, et al. The influence of age and exercise modality on growth hormone bioactivity in women. *Growth Horm IGF Res* 24: 95–103, 2014.
229. Gordon SE, Kraemer WJ, Vos NH, Lynch JM, Knuttgen HG. Effect of acid-base balance on the growth hormone response to acute high-intensity cycle exercise. *J Appl Physiol* (1985) 76: 821–829, 1994.
230. Gorostiaga EM, Navarro-Amezqueta I, Calbet JA, et al. Energy metabolism during repeated sets of leg press exercise leading to failure or not. *PLoS One* 7: e40621, 2012.
231. Gower BA, Casazza K. Divergent effects of obesity on bone health. *J Clin Densitom* 16: 450–454, 2013.
232. Granacher U, Gruber M, Gollhofer A. Resistance training and neuromuscular performance in seniors. *Int J Sports Med* 30: 652–657, 2009.
233. Gregg EW, Sattar N, Ali MK. The changing face of diabetes



- complications. *Lancet Diabetes Endocrinol* 4: 537–547, 2016.
234. Gregg EW, Sorlie P, Paulose-Ram R, et al. Prevalence of lower-extremity disease in the US adult population .540 years of age with and without diabetes: 1999–2000 national health and nutrition examination survey. *Diabetes Care* 27: 1591–1597, 2004.
235. Gregg EW, Zhuo X, Cheng YJ, Albright AL, Narayan KMV, Thompson TJ. Trends in lifetime risk and years of life lost due to diabetes in the USA, 1985–2011: A modelling study. *Lancet Diabetes Endocrinol* 2: 867–874, 2014.
236. Greiwe JS, Cheng B, Rubin DC, Yarasheski KE, Semenkovich CF. Resistance exercise decreases skeletal muscle tumor necrosis factor alpha in frail elderly humans. *FASEB J* 15: 475–482, 2001.
237. Grontved A, Rimm EB, Willett WC, Andersen LB, Hu FB. A prospective study of weight training and risk of type 2 diabetes mellitus in men. *Arch Intern Med* 172: 1306–1312, 2012.
238. Häkkinen K, Häkkinen A. Neuromuscular adaptations during intensive strength training in middle-aged and elderly males and females. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 35: 137–147, 1995.
239. Häkkinen K, Kallinen M, Izquierdo M, et al. Changes in agonist/antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J Appl Physiol (1985)* 84: 1341–1349, 1998.
240. Häkkinen K, Kallinen M, Linnamo V, et al. Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand* 158: 77–88, 1996.
241. Häkkinen K, Kraemer WJ, Newton RU, Alen M. Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiol Scand* 171: 51–62, 2001.
242. Häkkinen K, Kraemer WJ, Pakarinen A, et al. Effects of heavy resistance/power training on maximal strength, muscle morphology, and hormonal response patterns in 60–75-year-old men and women. *Can J Appl Physiol* 27: 213–231, 2002.
243. Häkkinen K, Newton RU, Gordon SE, et al. Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 53: B415–B423, 1998.
244. Häkkinen K, Pakarinen A. Serum hormones and strength development during strength training in middle-aged and elderly males and females. *Acta Physiol Scand* 150: 211–219, 1994.
245. Häkkinen K, Pakarinen A, Kraemer WJ, et al. Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *J Appl Physiol (1985)* 91: 569–580, 2001.
246. Häkkinen K, Pakarinen A, Kraemer WJ, Newton RU, Alen M. Basal concentrations and acute responses of serum hormones and strength development during heavy resistance training in middle-aged and elderly men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 55: B95–B105, 2000.
247. Häkkinen K, Pakarinen A, Newton RU, Kraemer WJ. Acute hormone responses to heavy resistance lower and upper extremity exercise in young versus old men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 77: 312–319, 1998.
248. Häkkinen K, Pastinen UM, Karsikas R, Linnamo V. Neuromuscular performance in voluntary bilateral and unilateral contraction and during electrical stimulation in men at different ages. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 70: 518–527, 1995.
249. Hameed M, Lange KH, Andersen JL, et al. The effect of recombinant human growth hormone and resistance training on IGF-I mRNA expression in the muscles of elderly men. *J Physiol* 555(Pt 1): 231–240, 2004.
250. Hameed M, Orrell RW, Cobbold M, Goldspink G, Harridge SD. Expression of IGF-I splice variants in young and old human skeletal muscle after high resistance exercise. *J Physiol* 547(Pt 1): 247–254, 2003.
251. Harridge SD, Kryger A, Stensgaard A. Knee extensor strength, activation, and size in very elderly people following strength training. *Muscle Nerve* 22: 831–839, 1999.
252. Hassan BH, Hewitt J, Keogh JW, et al. Impact of resistance training on sarcopenia in nursing care facilities: A pilot study. *Geriatr Nurs* 37: 116–121, 2016.
253. Hasten DL, Pak-Loduca J, Obert KA, Yarasheski KE. Resistance exercise acutely increases MHC and mixed muscle protein synthesis rates in 78–84 and 23–32 yr olds. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 278: E620–E626, 2000.
254. Haub MD, Wells AM, Tarnopolsky MA, Campbell WW. Effect of protein source on resistive-training-induced changes in body composition and muscle size in older men. *Am J Clin Nutr* 76: 511–517, 2002.
255. Hauer K, Rost B, Rutschle K, et al. Exercise training for rehabilitation and secondary prevention of falls in geriatric patients with a history of injurious falls. *J Am Geriatr Soc* 49: 10–20, 2001.
256. Hauer K, Schwenk M, Zieschang T, Essig M, Becker C, Oster P. Physical training improves motor performance in people with dementia: A randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 60: 8–15, 2012.
257. Haykowsky M, Humen D, Teo K, et al. Effects of 16 weeks of resistance training on left ventricular morphology and systolic function in healthy men .60 years of age. *Am J Cardiol* 85: 1002–1006, 2000.
258. Haykowsky M, McGavock J, Vonder Muhll I, et al. Effect of exercise training on peak aerobic power, left ventricular morphology, and muscle strength in healthy older women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 60: 307–311, 2005.
259. Hazell T, Kenno K, Jakobi J. Functional benefit of power training for older adults. *J Aging Phys Act* 15: 349–359, 2007.
260. Heffernan KS, Yoon ES, Sharman JE, et al. Resistance exercise training reduces arterial reservoir pressure in older adults with prehypertension and hypertension. *Hypertens Res* 36: 422–427, 2013.
261. Hennessey JV, Chromiak JA, Della Ventura S, et al. Growth hormone administration and exercise effects on muscle fiber type and diameter in moderately frail older people. *J Am Geriatr Soc* 49: 852–858, 2001.
262. Henwood TR, Riek S, Taaffe DR. Strength versus muscle power-specific resistance training in community-dwelling older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 63: 83–91, 2008.
263. Henwood TR, Taaffe DR. Improved physical performance in older adults undertaking a short-term programme of high-velocity resistance training. *Gerontology* 51: 108–115, 2005.
264. Henwood TR, Taaffe DR. Short-term resistance training and the older adult: The effect of varied programmes for the enhancement of muscle strength and functional performance. *Clin Physiol Funct Imaging* 26: 305–313, 2006.
265. Heyn P, Abreu BC, Ottenbacher KJ. The effects of exercise training on elderly persons with cognitive impairment and dementia: A meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 85: 1694–1704, 2004.
266. Heyn PC, Johnson KE, Kramer AF. Endurance and strength training outcomes on cognitively impaired and cognitively intact older adults: A meta-analysis. *J Nutr Health Aging* 12: 401–409, 2008.
267. Hickson RC. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 45: 255–263, 1980.
268. Hoffmann TC, Maher CG, Briffa T, et al. Prescribing exercise interventions for patients with chronic conditions. *CMAJ* 188: 510–518, 2016.
269. Hofmann M, Schober-Halper B, Oesen S, et al. Effects of elastic band resistance training and nutritional supplementation on muscle quality and circulating muscle growth and degradation factors of institutionalized elderly women: The Vienna Active Ageing Study (VAAS). *Eur J Appl Physiol* 116: 885–897, 2016.
270. Hollings M, Mavros Y, Freeston J, Fiatarone Singh M. The effect of progressive resistance training on aerobic fitness and strength in adults with coronary heart disease: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Eur J Prev Cardiol* 24: 1242–1259, 2017.
271. Holviala JH, Sallinen JM, Kraemer WJ, Alen MJ, Häkkinen KK. Effects of strength training on muscle strength characteristics, functional capabilities, and balance in middle-aged and older women. *J Strength Cond Res* 20: 336–344, 2006.
272. Hortobagyi T, Tunnel D, Moody J, Beam S, DeVita P. Low- or high-intensity strength training partially restores impaired quadriceps force accuracy and steadiness in aged adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 56: B38–B47, 2001.
273. Hovanec N, Sawant A, Overend TJ, Petrella RJ, Vandervoort AA. Resistance training and older adults with type 2 diabetes mellitus:

- Strength of the evidence. *J Aging Res* 2012; 284635, 2012.
274. Hruda KV, Hicks AL, McCartney N. Training for muscle power in older adults: Effects on functional abilities. *Can J Appl Physiol* 28: 178–189, 2003.
275. Hubal MJ, Gordish-Dressman H, Thompson PD, et al. Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 37: 964–972, 2005.
276. Hulmi JJ, Ahtiainen JP, Selanne H, et al. Androgen receptors and testosterone in men—Effects of protein ingestion, resistance exercise and fiber type. *J Steroid Biochem Mol Biol* 110: 130–137, 2008.
277. Hunter GR, McCarthy JP, Bamman MM. Effects of resistance training on older adults. *Sports Med* 34: 329–348, 2004.
278. Hunter GR, Wetzstein CJ, Fields DA, Brown A, Bamman MM. Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. *J Appl Physiol (1985)* 89: 977–984, 2000.
279. Hunter GR, Wetzstein CJ, McLafferty CL Jr, et al. High-resistance versus variable-resistance training in older adults. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1759–1764, 2001.
280. Hunter SK, Pereira HM, Keenan KG. The aging neuromuscular system and motor performance. *J Appl Physiol (1985)* 121: 982–995, 2016.
281. Hurlbut DE, Lott ME, Ryan AS, et al. Does age, sex, or ACE genotype affect glucose and insulin responses to strength training? *J Appl Physiol (1985)* 92: 643–650, 2002.
282. Hurley BF, Hanson ED, Sheaff AK. Strength training as a countermeasure to aging muscle and chronic disease. *Sports Med* 41: 289–306, 2011.
283. Hyatt RH, Whitelaw MN, Bhat A, Scott S, Maxwell JD. Association of muscle strength with functional status of elderly people. *Age Ageing* 19: 330–336, 1990.
284. Ibanez J, Izquierdo M, Arguelles I, et al. Twice-weekly progressive resistance training decreases abdominal fat and improves insulin sensitivity in older men with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 28: 662–667, 2005.
285. Ice GH. Daily life in a nursing home Has it changed in 25 years? *J Aging Stud* 16: 345, 2002.
286. Igwebuike A, Irving BA, Bigelow ML, et al. Lack of dehydroepiandrosterone effect on a combined endurance and resistance exercise program in postmenopausal women. *J Clin Endocrinol Metab* 93: 534–538, 2008.
287. Ivey FM, Roth SM, Ferrell RE, et al. Effects of age, gender, and myostatin genotype on the hypertrophic response to heavy resistance strength training. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 55: M641–M648, 2000.
288. Ivey FM, Tracy BL, Lemmer JT, et al. Effects of strength training and detraining on muscle quality: Age and gender comparisons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 55: B152–B157, 2000; discussion B8–9.
289. Izquierdo M, Häkkinen K, Anton A, et al. Maximal strength and power, endurance performance, and serum hormones in middle-aged and elderly men. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1577–1587, 2001.
290. Izquierdo M, Häkkinen K, Ibanez J, et al. Effects of strength training on submaximal and maximal endurance performance capacity in middle-aged and older men. *J Strength Cond Res* 17: 129–139, 2003.
291. Izquierdo M, Häkkinen K, Ibanez J, et al. Effects of strength training on muscle power and serum hormones in middle-aged and older men. *J Appl Physiol (1985)* 90: 1497–1507, 2001.
292. Izquierdo M, Ibanez J, Gorostiaga E, et al. Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiol Scand* 167: 57–68, 1999.
293. Izquierdo M, Ibanez J, Kraemer WJ, Larrion JL, Gorostiaga EM. Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Med Sci Sports Exerc* 36: 435–443, 2004.
294. Izumi A, Kitamura M, Izawa KP. Effects of exercise training on delaying disease progression in patients with chronic kidney disease: A review of the literature. *Rev Recent Clin Trials* 11: 333–341, 2016.
295. Jafarzadeh SR, Felson DT. Updated estimates suggest a much higher prevalence of arthritis in US adults than previous ones. *Arthritis Rheumatol* 70: 185–192, 2017.
296. Jakobi JM, Rice CL. Voluntary muscle activation varies with age and muscle group. *J Appl Physiol (1985)* 93: 457–462, 2002.
297. Jan MH, Lin JJ, Liao JJ, Lin YF, Lin DH. Investigation of clinical effects of high- and low-resistance training for patients with knee osteoarthritis: A randomized controlled trial. *Phys Ther* 88: 427–436, 2008.
298. Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 yr. *J Appl Physiol (1985)* 89: 81–88, 2000.
299. Janssen JA. Impact of physical exercise on endocrine aging. *Front Horm Res* 47: 68–81, 2016.
300. Johansen KL, Painter P. Exercise in individuals with CKD. *Am J Kidney Dis* 59: 126–134, 2012.
301. Johnen B, Schott N. Feasibility of a machine vs free weight strength training program and its effects on physical performance in nursing home residents: A pilot study. *Aging Clin Exp Res* 30: 819–828, 2018.
302. Johnson RJ, Rodriguez-Iturbe B, Roncal-Jimenez C, et al. Hyperosmolarity drives hypertension and CKD—water and salt revisited. *Nat Rev Nephrol* 10: 415–420, 2014.
303. Johnson Stoklossa CA, Sharma AM, Forhan M, et al. Prevalence of sarcopenic obesity in adults with class II/III obesity using different diagnostic criteria. *J Nutr Metab* 2017: 7307618, 2017.
304. Johnston AP, De Lizio M, Parise G. Resistance training, sarcopenia, and the mitochondrial theory of aging. *J Appl Physiol Nutr Metab* 33: 191–199, 2008.
305. Jordan JM, Helmick CG, Renner JB, et al. Prevalence of knee symptoms and radiographic and symptomatic knee osteoarthritis in African Americans and Caucasians: The Johnston county osteoarthritis project. *J Rheumatol* 34: 172–180, 2007.
306. Jordan JM, Helmick CG, Renner JB, et al. Prevalence of hip symptoms and radiographic and symptomatic hip osteoarthritis in African Americans and Caucasians: The Johnston county osteoarthritis project. *J Rheumatol* 36: 809–815, 2009.
307. Joseph LJ, Davey SL, Evans WJ, Campbell WW. Differential effect of resistance training on the body composition and lipoprotein-lipid profile in older men and women. *Metabolism* 48: 1474–1480, 1999.
308. Judge JO, Whipple RH, Wolfson LI. Effects of resistive and balance exercises on isokinetic strength in older persons. *J Am Geriatr Soc* 42: 937–946, 1994.
309. Kalapotharakos V, Smilios I, Parlavatzas A, Tokmakidis SP. The effect of moderate resistance strength training and detraining on muscle strength and power in older men. *J Geriatr Phys Ther* 30: 109–113, 2007.
310. Kalapotharakos VI, Michalopoulou M, Godolias G, et al. The effects of high- and moderate-resistance training on muscle function in the elderly. *J Aging Phys Act* 12: 131–143, 2004.
311. Kalinkovich A, Livshits G. Sarcopenic obesity or obese sarcopenia: A cross talk between age-associated adipose tissue and skeletal muscle inflammation as a main mechanism of the pathogenesis. *Ageing Res Rev* 35: 200–221, 2017.
312. Kalyani RR, Metter EJ, Egan J, Golden SH, Ferrucci L. Hyperglycemia predicts persistently lower muscle strength with aging. *Diabetes Care* 38: 82–90, 2015.
313. Kane RL, Butler M, Fink HA, et al. *Interventions to Prevent Age-Related Cognitive Decline, Mild Cognitive Impairment, and Clinical Alzheimer’s-Type Dementia*. Rockville, MD: Agency for Healthcare Research and Quality (US), 2017.
314. Karamanidis K, Arampatzis A. Mechanical and morphological properties of human quadriceps femoris and triceps surae muscle-tendon unit in relation to aging and running. *J Biomech* 39: 406–417, 2006.
315. Karinkanta S, Heinonen A, Sievanen H, et al. A multi-component exercise regimen to prevent functional decline and bone fragility in home-dwelling elderly women: Randomized, controlled trial. *Osteoporos Int* 18: 453–462, 2007.
316. Karinkanta S, Kannus P, Uusi-Rasi K, Heinonen A, Sievanen H. Combined resistance and balance-jumping exercise reduces older women’s injurious falls and fractures: 5-year follow-up study. *Age Ageing* 44: 784–789, 2015.
317. Kekalainen T, Kokko K, Sipilä S, Walker S. Effects of a 9-month resistance training intervention on quality of life, sense of coherence, and depressive symptoms in older adults: Randomized controlled trial. *Qual*

- Life Res* 27: 455–465, 2017.
318. Kelley GA, Kelley KS. Progressive resistance exercise and resting blood pressure: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Hypertension* 35: 838–843, 2000.
319. Kelsey TW, Li LQ, Mitchell RT, et al. A validated age-related normative model for male total testosterone shows increasing variance but no decline after age 40 years. *PLoS One* 9: e109346, 2014.
320. Kendrick D, Kumar A, Carpenter H, et al. Exercise for reducing fear of falling in older people living in the community. *Cochrane Database Syst Rev* 11: CD009848, 2014.
321. Kennis E, Verschueren SM, Bogaerts A, et al. Long-term impact of strength training on muscle strength characteristics in older adults. *Arch Phys Med Rehabil* 94: 2054–2060, 2013.
322. Kessenich CR. Health-related quality of life in osteoporosis. *J Clin Densitom* 1: 27–31, 1998.
323. Keysor JJ. Does late-life physical activity or exercise prevent or minimize disablement? A critical review of the scientific evidence. *Am J Prev Med* 25(3 Suppl 2): 129–136, 2003.
324. Keysor JJ, Jette AM. Have we oversold the benefit of late-life exercise? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 56: M412–M423, 2001.
325. Kimball SR, Jefferson LS. Control of protein synthesis by amino acid availability. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 5: 63–67, 2002.
326. King LK, Birmingham TB, Kean CO, Jones IC, Bryant DM, Giffin JR. Resistance training for medial compartment knee osteoarthritis and malalignment. *Med Sci Sports Exerc* 40: 1376–1384, 2008.
327. Kinne S, Patrick DL, Doyle DL. Prevalence of secondary conditions among people with disabilities. *Am J Public Health* 94: 443–445, 2004.
328. Kitwood T. The dialectics of dementia: With particular reference to Alzheimer's disease. *Ageing Soc* 10: 177–196, 1990.
329. Klass M, Baudry S, Duchateau J. Voluntary activation during maximal contraction with advancing age: A brief review. *Eur J Appl Physiol* 100: 543–551, 2007.
330. Klass M, Baudry S, Duchateau J. Age-related decline in rate of torque development is accompanied by lower maximal motor unit discharge frequency during fast contractions. *J Appl Physiol* (1985) 104: 739–746, 2008.
331. Klein CS, Ivanova TD, Rice CL, Garland SJ. Motor unit discharge rate following twitch potentiation in human triceps brachii muscle. *Neurosci Lett* 316: 153–156, 2001.
332. Klitgaard H, Mantoni M, Schiaffino S, et al. Function, morphology and protein expression of ageing skeletal muscle: A cross-sectional study of elderly men with different training backgrounds. *Acta Physiol Scand* 140: 41–54, 1990.
333. Knight CA, Kamen G. Adaptations in muscular activation of the knee extensor muscles with strength training in young and older adults. *J Electromyogr Kinesiol* 11: 405–412, 2001.
334. Kolber MJ, Beekhuizen KS, Cheng MS, Hellman MA. Shoulder injuries attributed to resistance training: A brief review. *J Strength Cond Res* 24: 1696–1704, 2010.
335. Korpelainen R, Keinanen-Kiukaanniemi S, Heikkinen J, Vaananen K, Korpelainen J. Effect of impact exercise on bone mineral density in elderly women with low BMD: A population-based randomized controlled 30-month intervention. *Osteoporos Int* 17: 109–118, 2006.
336. Kortebein P, Symons TB, Ferrando A, et al. Functional impact of 10 days of bed rest in healthy older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 63: 1076–1081, 2008.
337. Kosek DJ, Kim JS, Petrella JK, Cross JM, Bamman MM. Efficacy of 3 days/wk resistance training on myofiber hypertrophy and myogenic mechanisms in young vs. older adults. *J Appl Physiol* (1985) 101: 531–544, 2006.
338. Kraemer WJ. Endocrine responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 20(5 Suppl): S152–S157, 1988.
339. Kraemer WJ, Deschenes MR, Fleck SJ. Physiological adaptations to resistance exercise. Implications for athletic conditioning. *Sports Med* 6: 246–256, 1988.
340. Kraemer WJ, Dunn-Lewis C, Comstock BA, Thomas GA, Clark JE, Nindl BC. Growth hormone, exercise, and athletic performance: A continued evolution of complexity. *Curr Sports Med Rep* 9: 242–252, 2010.
341. Kraemer WJ, Fragala MS. Personalize it: Program design in resistance training. *ACSM Health Fitness J* 10: 7–17, 2006.
342. Kraemer WJ, Hakkinen K, Newton RU, et al. Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J Appl Physiol* (1985) 87: 982–992, 1999.
343. Kraemer WJ, Kennett MJ, Mastro AM, et al. Bioactive growth hormone in older men and women: It's relationship to immune markers and healthspan. *Growth Horm IGF Res* 34: 45–54, 2017.
344. Kraemer WJ, Nindl BC, Marx JO, et al. Chronic resistance training in women potentiates growth hormone in vivo bioactivity: Characterization of molecular mass variants. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 291: E1177–E1187, 2006.
345. Kraemer WJ, Patton JF, Gordon SE, et al. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* (1985) 78: 976–989, 1995.
346. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med* 35: 339–361, 2005.
347. Kraemer WJ, Ratamess NA, Nindl BC. Recovery responses of testosterone, growth hormone, and IGF-1 after resistance exercise. *J Appl Physiol* (1985) 122: 549–558, 2017.
348. Kraemer WJ, Spiering BA, Volek JS, et al. Androgenic responses to resistance exercise: Effects of feeding and L-carnitine. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1288–1296, 2006.
349. Krebs DE, Scarborough DM, McGibbon CA. Functional vs. strength training in disabled elderly outpatients. *Am J Phys Med Rehabil* 86: 93–103, 2007.
350. Krist L, Dimeo F, Keil T. Can progressive resistance training twice a week improve mobility, muscle strength, and quality of life in very elderly nursing-home residents with impaired mobility? A pilot study. *Clin Interv Aging* 8: 443–448, 2013.
351. Krops LA, Hols DH, Folkertsma N, et al. Requirements on a community-based intervention for stimulating physical activity in physically disabled people: A focus group study amongst experts. *Disabil Rehabil* 40: 2400–2407, 2018.
352. Kryger AI, Andersen JL. Resistance training in the oldest old: Consequences for muscle strength, fiber types, fiber size, and MHC isoforms. *Scand J Med Sci Sports* 17: 422–430, 2007.
353. Ku PW, Fox KR, Gardiner PA, Chen LJ. Late-life exercise and difficulty with activities of daily living: An 8-year nationwide follow-up study in Taiwan. *Ann Behav Med* 50: 237–246, 2016.
354. Lacroix A, Hortobagyi T, Beurskens R, Granacher U. Effects of supervised vs. unsupervised training programs on balance and muscle strength in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 47: 2341–2361, 2017.
355. Lally F, Crome P. Understanding frailty. *Postgrad Med J* 83: 16–20, 2007.
356. Lampe R, Grassl S, Mitternacht J, Gerdesmeyer L, Gradinger R. MRT measurements of muscle volumes of the lower extremities of youths with spastic hemiplegia caused by cerebral palsy. *Brain Dev* 28: 500–506, 2006.
357. LaPlante MP, Hendershot GE, Moss AJ. Assistive technology devices and home accessibility features: Prevalence, payment, need, and trends. *Adv Data* 16: 1–11, 1992.
358. Larsson L. Physical training effects on muscle morphology in sedentary males at different ages. *Med Sci Sports Exerc* 14: 203–206, 1982.
359. Latham NK, Anderson CS, Lee A, et al. A randomized, controlled trial of quadriceps resistance exercise and vitamin D in frail older people: The frailty interventions trial in elderly subjects (FITNESS). *J Am Geriatr Soc* 51: 291–299, 2003.
360. Laughlin GA, Barrett-Connor E. Sexual dimorphism in the influence of advanced aging on adrenal hormone levels: The Rancho Bernardo study. *J Clin Endocrinol Metab* 85: 3561–3568, 2000.
361. Lavallee ME, Balam T. An overview of strength training injuries: Acute and chronic. *Curr Sports Med Rep* 9: 307–313, 2010.
362. Law M, Wald N, Morris J. Lowering blood pressure to prevent myocardial infarction and stroke: A new preventive strategy. *Health Technol Assess* 7: 1–94, 2003.



363. Lazowski DA, Ecclestone NA, Myers AM, et al. A randomized outcome evaluation of group exercise programs in long-term care institutions. *J Gerontol Ser A Biol Sci Med Sci* 54: M621–M8, 1999.
364. LeBrasseur NK, Walsh K, Arany Z. Metabolic benefits of resistance training and fast glycolytic skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 300: E3–E10, 2011.
365. Lemmer JT, Hurlbut DE, Martel GF, et al. Age and gender responses to strength training and detraining. *Med Sci Sports Exerc* 32: 1505–1512, 2000.
366. Lemmer JT, Ivey FM, Ryan AS, et al. Effect of strength training on resting metabolic rate and physical activity: Age and gender comparisons. *Med Sci Sports Exerc* 33: 532–541, 2001.
367. Leong DP, Teo KK, Rangarajan S, et al. Prognostic value of grip strength: Findings from the prospective Urban Rural epidemiology (PURE) study. *Lancet* 386: 266–273, 2015.
368. Li WC, Chen YC, Yang RS, Tsauo JY. Effects of exercise programmes on quality of life in osteoporotic and osteopenic postmenopausal women: A systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil* 23: 888–896, 2009.
369. Liao CD, Tsauo JY, Lin LF, et al. Effects of elastic resistance exercise on body composition and physical capacity in older women with sarcopenic obesity: A CONSORT-compliant prospective randomized controlled trial. *Medicine* (Baltimore) 96: e7115, 2017.
370. Lim PS, Cheng YM, Wei YH. Large-scale mitochondrial DNA deletions in skeletal muscle of patients with end-stage renal disease. *Free Radic Biol Med* 29: 454–463, 2000.
371. Lim S, Kim JH, Yoon JW, et al. Sarcopenic obesity: Prevalence and association with metabolic syndrome in the Korean longitudinal study on health and aging (KLoSHA). *Diabetes Care* 33: 1652–1654, 2010.
372. Lind AR, McNicol GW. Circulatory responses to sustained hand-grip contractions performed during other exercise, both rhythmic and static. *J Physiol* 192: 595–607, 1967.
373. Lindle RS, Metter EJ, Lynch NA, et al. Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20–93 yr. *J Appl Physiol* (1985) 83: 1581–1587, 1997.
374. Littbrand H, Lundin-Olsson L, Gustafson Y, Rosendahl E. The effect of a high-intensity functional exercise program on activities of daily living: A randomized controlled trial in residential care facilities. *J Am Geriatr Soc* 57: 1741–1749, 2009.
375. Liu-Ambrose T, Donaldson MG. Exercise and cognition in older adults: Is there a role for resistance training programmes? *Br J Sports Med* 43: 25–27, 2009.
376. Liu-Ambrose T, Donaldson MG, Ahamed Y, et al. Otago home-based strength and balance retraining improves executive functioning in older fallers: A randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 56: 1821–1830, 2008.
377. Liu-Ambrose TY, Khan KM, Eng JJ, et al. Both resistance and agility training reduce back pain and improve health-related quality of life in older women with low bonemass. *Osteoporos Int* 16: 1321–1329, 2005.
378. Liu C, Shiroy DM, Jones LY, Clark DO. Systematic review of functional training on muscle strength, physical functioning, and activities of daily living in older adults. *Eur Rev Aging Phys Activity* 11: 95–106, 2014.
379. Liu CJ, Chang WP, Araujo de Carvalho I, et al. Effects of physical exercise in older adults with reduced physical capacity: meta-analysis of resistance exercise and multimodal exercise. *Int J Rehabil Res* 40: 303–314, 2017.
380. Liu CJ, Latham N. Can progressive resistance strength training reduce physical disability in older adults? A meta-analysis study. *Disabil Rehabil* 33: 87–97, 2011.
381. Liu CK, Fielding RA. Exercise as an intervention for frailty. *Clin Geriatr Med* 27: 101–110, 2011.
382. Liu F, Chang HC. Physiological links of circadian clock and biological clock of aging. *Protein Cell* 8: 477–488, 2017.
383. Lohne-Seiler H, Torstveit MK, Anderssen SA. Traditional versus functional strength training: Effects on muscle strength and power in the elderly. *J Aging Phys Act* 21: 51–70, 2013.
384. Lopez P, Pinto RS, Radaelli R, et al. Benefits of resistance training in physically frail elderly: A systematic review. *Aging Clin Exp Res* 30: 889–899, 2018.
385. Lord SR, Castell S, Corcoran J, et al. The effect of group exercise on physical functioning and falls in frail older people living in retirement villages: A randomized, controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 51: 1685–1692, 2003.
386. Lourenzi FM, Jones A, Pereira DF, et al. Effectiveness of an overall progressive resistance strength program for improving the functional capacity of patients with rheumatoid arthritis: A randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 31: 1482–1491, 2017.
387. Lovell DI, Cuneo R, Gass GC. The effect of strength training and short-term detraining on maximum force and the rate of force development of older men. *Eur J Appl Physiol* 109: 429–435, 2010.
388. Macaluso A, De Vito G. Muscle strength, power and adaptations to resistance training in older people. *Eur J Appl Physiol* 91: 450–472, 2004.
389. Macaluso A, De Vito G, Felici F, Nimmo MA. Electromyogram changes during sustained contraction after resistance training in women in their 3rd and 8th decades. *Eur J Appl Physiol* 82: 418–424, 2000.
390. Macaluso A, Nimmo MA, Foster JE, Cockburn M, McMillan NC, De Vito G. Contractile muscle volume and agonist-antagonist coactivation account for differences in torque between young and older women. *Muscle Nerve* 25: 858–863, 2002.
391. Maganaris CN, Narici MV, Reeves ND. In vivo human tendon mechanical properties: Effect of resistance training in old age. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 4: 204–208, 2004.
392. Magni NE, McNair PJ, Rice DA. The effects of resistance training on muscle strength, joint pain, and hand function in individuals with hand osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Arthritis Res Ther* 19: 131, 2017.
393. Makizako H, Doi T, Shimada H, et al. Does a multicomponent exercise program improve dual-task performance in amnesic mild cognitive impairment? A randomized controlled trial. *Aging Clin Exp Res* 24: 640–646, 2012.
394. Manini T, Marko M, VanArman T, et al. Efficacy of resistance and task-specific exercise in older adults who modify tasks of everyday life. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 62: 616–623, 2007.
395. Manini TM, Clark BC. Dynapenia and aging: An update. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 67: 28–40, 2012.
396. Manini TM, Clark BC, Nalls MA, Goodpaster BH, Ploutz-Snyder LL, Harris TB. Reduced physical activity increases intermuscular adipose tissue in healthy young adults. *Am J Clin Nutr* 85: 377–384, 2007.
397. Marques EA, Mota J, Carvalho J. Exercise effects on bone mineral density in older adults: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Age (Dordr)* 34: 1493–1515, 2012.
398. Marsh AP, Miller ME, Rejeski WJ, Hutton SL, Kritchevsky SB. Lower extremity muscle function after strength or power training in older adults. *J Aging Phys Act* 17: 416–443, 2009.
399. Martel GF, Roth SM, Ivey FM, et al. Age and sex affect human muscle fibre adaptations to heavy-resistance strength training. *Exp Physiol* 91: 457–464, 2006.
400. Martinez-Velilla N, Casas-Herrero A, Zambom-Ferraresi F, et al. Effect of exercise intervention on functional decline in very elderly patients during acute hospitalization: A randomized clinical trial. *JAMA Intern Med* 2018. Epub ahead of print.
401. Matheny RW Jr, Nindl BC, Adamo ML. Minireview: Mechano-growth factor: A putative product of IGF-I gene expression involved in tissue repair and regeneration. *Endocrinology* 151: 865–875, 2010.
402. Matthews CE, Chen KY, Freedson PS, et al. Amount of time spent in sedentary behaviors in the United States, 2003–2004. *Am J Epidemiol* 167: 875–881, 2008.
403. Mavros Y, Gates N, Wilson GC, et al. Mediation of cognitive function improvements by strength gains after resistance training in older adults with mild cognitive impairment: Outcomes of the study of mental and resistance training. *J Am Geriatr Soc* 65: 550–559, 2017.
404. McCartney N. Acute responses to resistance training and safety. *Med Sci Sports Exerc* 31: 31–37, 1999.
405. McCartney N, McKelvie RS, Martin J, Sale DG, MacDougall JD. Weight-training-induced attenuation of the circulatory response of older males to

- weight lifting. *J Appl Physiol* (1985) 74: 1056–1060, 1993.
406. McGrath RP, Kraemer WJ, Vincent BM, Hall OT, Peterson MD. Muscle strength is protective against osteoporosis in an ethnically diverse sample of adults. *J Strength Cond Res* 31: 2586–2589, 2017.
407. McGrath RP, Ottenbacher KJ, Vincent BM, Kraemer WJ, Peterson MD. Muscle weakness and functional limitations in an ethnically diverse sample of older adults. *Ethn Health* 26: 1–12, 2017.
408. McLafferty CL Jr, Wetzstein CJ, Hunter GR. Resistance training is associated with improved mood in healthy older adults. *Percept Mot Skills* 98: 947–957, 2004.
409. McLean RR, Shardell MD, Alley DE, et al. Criteria for clinically relevant weakness and low lean mass and their longitudinal association with incident mobility impairment and mortality: The foundation for the National Institutes of Health (FNIH) sarcopenia project. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 69: 576–583, 2014.
410. McMurdo ME, Johnstone R. A randomized controlled trial of a home exercise programme for elderly people with poor mobility. *Age Ageing* 24: 425–428, 1995.
411. McMurdo ME, Rennie LM. Improvements in quadriceps strength with regular seated exercise in the institutionalized elderly. *Arch Phys Med Rehabil* 75: 600–603, 1994.
412. McNeil CJ, Vandervoort AA, Rice CL. Peripheral impairments cause a progressive age-related loss of strength and velocity-dependent power in the dorsiflexors. *J Appl Physiol* (1985) 102: 1962–1968, 2007.
413. Melton LJ III, Khosla S, Crowson CS, O' Connor MK, O' Fallon WM, Riggs BL. Epidemiology of sarcopenia. *J Am Geriatr Soc* 48: 625–630, 2000.
414. Metter EJ, Conwit R, Tobin J, Fozzard JL. Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 52: B267–B276, 1997.
415. Meuleman JR, Brechue WF, Kubilis PS, Lowenthal DT. Exercise training in the debilitated aged: Strength and functional outcomes. *Arch Phys Med Rehabil* 81: 312–318, 2000.
416. Miszko TA, Cress ME, Slade JM, et al. Effect of strength and power training on physical function in community-dwelling older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 58: 171–175, 2003.
417. Mitch WE. Malnutrition is an unusual cause of decreased muscle mass in chronic kidney disease. *J Ren Nutr* 17: 66–69, 2007.
418. Mitchell JH, Payne FC, Saltin B, Schibye B. The role of muscle mass in the cardiovascular response to static contractions. *J Physiol* 309: 45–54, 1980.
419. Moinuddin I, Leehey DJ. A comparison of aerobic exercise and resistance training in patients with and without chronic kidney disease. *Adv Chronic Kidney Dis* 15: 83–96, 2008.
420. Montero-Odasso M, Muir SW, Speechley M. Dual-task complexity affects gait in people with mild cognitive impairment: The interplay between gait variability, dual tasking, and risk of falls. *Arch Phys Med Rehabil* 93: 293–299, 2012.
421. Moore AZ, Caturegli G, Metter EJ, et al. Difference in muscle quality over the adult life span and biological correlates in the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *J Am Geriatr Soc* 62: 230–236, 2014.
422. Moraes-Silva IC, Mostarda CT, Silva-Filho AC, Irigoyen MC. Hypertension and exercise training: Evidence from clinical studies. *Adv Exp Med Biol* 1000: 65–84, 2017.
423. Moreau NG, Li L, Geaghan JP, Damiano DL. Fatigue resistance during a voluntary performance task is associated with lower levels of mobility in cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil* 89: 2011–2016, 2008.
424. Morie M, Reid KF, Miciek R, et al. Habitual physical activity levels are associated with performance in measures of physical function and mobility in older men. *J Am Geriatr Soc* 58: 1727–1733, 2010.
425. Moritani T, deVries HA. Potential for gross muscle hypertrophy in older men. *J Gerontol* 35: 672–682, 1980.
426. Morse CI, Thom JM, Davis MG, et al. Reduced plantarflexor specific torque in the elderly is associated with a lower activation capacity. *Eur J Appl Physiol* 92: 219–226, 2004.
427. Morse CI, Thom JM, Mian OS, Birch KM, Narici MV. Gastrocnemius specific force is increased in elderly males following a 12-month physical training programme. *Eur J Appl Physiol* 100: 563–570, 2007.
428. Morse CI, Thom JM, Mian OS, et al. Muscle strength, volume and activation following 12-month resistance training in 70-year-old males. *Eur J Appl Physiol* 95: 197–204, 2005.
429. Morse CI, Thom JM, Reeves ND, Birch KM, Narici MV. In vivo physiological cross-sectional area and specific force are reduced in the gastrocnemius of elderly men. *J Appl Physiol* (1985) 99: 1050–1055, 2005.
430. Morton RW, Sato K, Gallagher MPB, et al. Muscle androgen receptor content but not systemic hormones is associated with resistance training-induced skeletal muscle hypertrophy in healthy, young men. *Front Physiol* 9: 1373, 2018.
431. Motl RW, McAuley E. Physical activity, disability, and quality of life in older adults. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 21: 299–308, 2010.
432. Mozaffarian D, Benjamin EJ, Go AS, et al. Heart disease and stroke statistics-2015 update a report from the American heart association. *Circulation* 131: E29–E322, 2015.
433. Muhlberg W, Sieber C. Sarcopenia and frailty in geriatric patients: Implications for training and prevention. *Z Gerontol Geriatr* 37: 2–8, 2004.
434. Nader GA. Concurrent strength and endurance training: From molecules to man. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1965–1970, 2006.
435. Nakamura Y, Tanaka K, Yabushita N, Sakai T, Shigematsu R. Effects of exercise frequency on functional fitness in older adult women. *Arch Gerontol Geriatr* 44: 163–173, 2007.
436. Narici MV, Maganaris CN, Reeves ND, Capodaglio P. Effect of aging on human muscle architecture. *J Appl Physiol* (1985) 95: 2229–2234, 2003.
437. Narici MV, Reeves ND, Morse CI, Maganaris CN. Muscular adaptations to resistance exercise in the elderly. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 4: 161–164, 2004.
438. Nelson ME, Fiatarone MA, Morganti CM, et al. Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. A randomized controlled trial. *JAMA* 272: 1909–1914, 1994.
439. Nelson RM, Soderberg GL, Urbscheit NL. Alteration of motor-unit discharge characteristics in aged humans. *Phys Ther* 64: 29–34, 1984.
440. Neves SdaC Jr, Lima RM, Simoes HG, et al. Resistance exercise sessions do not provoke acute immunosuppression in older women. *J Strength Cond Res* 23: 259–265, 2009.
441. Newton RU, Häkkinen K, Häkkinen A, McCormick M, Volek J, Kraemer WJ. Mixed-methods resistance training increases power and strength of young and older men. *Med Sci Sports Exerc* 34: 1367–1375, 2002.
442. Nguyen C, Lefevre-Colau MM, Poiraudou S, Rannou F. Rehabilitation (exercise and strength training) and osteoarthritis: A critical narrative review. *Ann Phys Rehabil Med* 59: 190–195, 2016.
443. Nicklas BJ, Brinkley TE. Exercise training as a treatment for chronic inflammation in the elderly. *Exerc Sport Sci Rev* 37: 165–170, 2009.
444. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. *Kidney Disease Statistics for the United States*. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention, 2016.
445. Nielson CM, Srikanth P, Orwoll ES. Obesity and fracture in men and women: An epidemiologic perspective. *J Bone Miner Res* 27: 1–10, 2012.
446. Nindl BC. Insulin-like growth factor-I, physical activity, and control of cellular anabolism. *Med Sci Sports Exerc* 42: 35–38, 2010.
447. Nindl BC, Kraemer WJ, Marx JO, Tuckow AP, Hymer WC. Growth hormone molecular heterogeneity and exercise. *Exerc Sport Sci Rev* 31: 161–166, 2003.
448. Nindl BC, Pierce JR. Insulin-like growth factor I as a biomarker of health, fitness, and training status. *Med Sci Sports Exerc* 42: 39–49, 2010.
449. NSCA. *Essentials of Strength Training and Conditioning*. Hum Kinetics, 2016. pp. 462.
450. O' Connor KG, Tobin JD, Harman SM, et al. Serum levels of insulinlike growth factor-I are related to age and not to body composition in healthy women and men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 53: M176–M182, 1998.
451. Palmer TB, Thiele RM, Conchola EC, Smith DB, Thompson BJ. A preliminary study of the utilization of maximal and rapid strength characteristics to identify chair-rise performance abilities in very old adults. *J Geriatr Phys Ther* 39: 102–109, 2016.
452. Palmer TB, Thiele RM, Thompson BJ. Age-related differences in maximal and rapid torque characteristics of the hip extensors and dynamic postural balance in healthy, young and old females. *J Strength*

- Cond Res* 31: 480–488, 2017.
453. Palmer TB, Thiele RM, Williams KB, et al. The identification of fall history using maximal and rapid isometric torque characteristics of the hip extensors in healthy, recreationally active elderly females: A preliminary investigation. *Aging Clin Exp Res* 27: 431–438, 2015.
454. Panton LB, Franke WD, Bleil DA, Baier SM, King DS. Effects of resistance training on cardiovascular responses to lower body negative pressure in the elderly. *Clin Physiol* 21: 605–611, 2001.
455. Papa EV, Dong X, Hassan M. Resistance training for activity limitations in older adults with skeletal muscle function deficits: A systematic review. *Clin Interv Aging* 12: 955–961, 2017.
456. Papa EV, Dong X, Hassan M. Skeletal muscle function deficits in the elderly: Current perspectives on resistance training. *J Nat Sci* 3: pii: e272, 2017.
457. Park J, Mendy A, Vieira ER. Various types of arthritis in the United States: Prevalence and age-related trends from 1999 to 2014. *Am J Public Health* 108: 256–258, 2018.
458. Pasco JA, Gould H, Brennan SL, Nicholson GC, Kotowicz MA. Musculoskeletal deterioration in men accompanies increases in body fat. *Obesity (Silver Spring)* 22: 863–867, 2014.
459. Pearson SJ, Young A, Macaluso A, et al. Muscle function in elite master weightlifters. *Med Sci Sports Exerc* 34: 1199–1206, 2002.
460. Penninx BW, Kritchevsky SB, Newman AB, et al. Inflammatory markers and incident mobility limitation in the elderly. *J Am Geriatr Soc* 52: 1105–1113, 2004.
461. Penninx BW, Messier SP, Rejeski WJ, et al. Physical exercise and the prevention of disability in activities of daily living in older persons with osteoarthritis. *Arch Intern Med* 161: 2309–2316, 2001.
462. Peterson M, Duchowny K, Meng Q, et al. Low normalized grip strength is a biomarker for cardiometabolic disease and physical disabilities among U.S. and Chinese adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 72: 1525–1531, 2017.
463. Peterson MD, Belakovskiy A, McGrath R, Yarrow JF. Testosterone deficiency, weakness, and multimorbidity in men. *Sci Rep* 8: 5897, 2018.
464. Peterson MD, Mahmoudi E. Healthcare utilization associated with obesity and physical disabilities. *Am J Prev Med* 48: 426–435, 2015.
465. Peterson MD, Rhea MR, Sen A, Gordon PM. Resistance exercise for muscular strength in older adults: A meta-analysis. *Ageing Res Rev* 9: 226–237, 2010.
466. Peterson MD, Ryan JM, Hurvitz EA, Mahmoudi E. Chronic conditions in adults with cerebral palsy. *JAMA* 314: 2303–2305, 2015.
467. Peterson MD, Saltarelli WA, Visich PS, Gordon PM. Strength capacity and cardiometabolic risk clustering in adolescents. *Pediatrics* 133: e896–903, 2014.
468. Peterson MD, Sen A, Gordon PM. Influence of resistance exercise on lean body mass in aging adults: A meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 43: 249–258, 2011.
469. Peterson MD, Zhang P, Choksi P, Markides KS, Al Snih S. Muscle weakness thresholds for prediction of diabetes in adults. *Sports Med* 46: 619–628, 2016.
470. Peterson MD, Zhang P, Duchowny KA, et al. Declines in strength and mortality risk among older Mexican Americans: Joint modeling of survival and longitudinal data. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 71: 1646–1652, 2016.
471. Peterson MD, Zhang P, Haapala HJ, Wang SC, Hurvitz EA. Greater adipose tissue distribution and diminished spinal musculoskeletal density in adults with cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil* 96: 1828–1833, 2015.
472. Petrella JK, Kim JS, Cross JM, Kosek DJ, Bamman MM. Efficacy of myonuclear addition may explain differential myofiber growth among resistance-trained young and older men and women. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 291: E937–E946, 2006.
473. Phillips SK, Bruce SA, Newton D, Woledge RC. The weakness of old age is not due to failure of muscle activation. *J Gerontol* 47: M45–M49, 1992.
474. Phillips SM. Resistance exercise: Good for more than just grandma and grandpa's muscles. *Appl Physiol Nutr Metab* 32: 1198–1205, 2007.
475. Piepoli MF, Conraads V, Corra U, et al. Exercise training in heart failure: From theory to practice. A consensus document of the heart failure association and the European association for cardiovascular prevention and rehabilitation. *Eur J Heart Fail* 13: 347–357, 2011.
476. Pina IL, Apstein CS, Balady GJ, et al. Exercise and heart failure: A statement from the American heart association Committee on exercise, rehabilitation, and prevention. *Circulation* 107: 1210–1225, 2003.
477. Pinto RS, Correa CS, Radaelli R, et al. Short-term strength training improves muscle quality and functional capacity of elderly women. *Age (Dordr)* 36: 365–372, 2014.
478. Pitkala K, Savikko N, Poysti M, Strandberg T, Laakkonen ML. Efficacy of physical exercise intervention on mobility and physical functioning in older people with dementia: A systematic review. *Exp Gerontol* 48: 85–93, 2013.
479. Plassman BL, Langa KM, Fisher GG, et al. Prevalence of dementia in the United States: The aging, demographics, and memory study. *Neuroepidemiology* 29: 125–132, 2007.
480. Pollock ML, Franklin BA, Balady GJ, et al. AHA Science Advisory. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: benefits, rationale, safety, and prescription: An advisory from the Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention, Council on Clinical Cardiology, American Heart Association: Position paper endorsed by the American College of Sports Medicine. *Circulation* 101: 828–833, 2000.
481. Price SR, Gooch JL, Donaldson SK, Roberts-Wilson TK. Muscle atrophy in chronic kidney disease results from abnormalities in insulin signaling. *J Ren Nutr* 20(5 Suppl): S24–S28, 2010.
482. Pu CT, Johnson MT, Forman DE, et al. Randomized trial of progressive resistance training to counteract the myopathy of chronic heart failure. *J Appl Physiol (1985)* 90: 2341–2350, 2001.
483. Pyka G, Lindenberger E, Charette S, Marcus R. Muscle strength and fiber adaptations to a year-long resistance training program in elderly men and women. *J Gerontol* 49: M22–M27, 1994.
484. Pyka G, Taaffe DR, Marcus R. Effect of a sustained program of resistance training on the acute growth hormone response to resistance exercise in older adults. *Horm Metab Res* 26: 330–333, 1994.
485. Qureshi AR, Alvestrand A, Danielsson A, et al. Factors predicting malnutrition in hemodialysis patients: A cross-sectional study. *Kidney Int* 53: 773–782, 1998.
486. Radaelli R, Botton CE, Wilhelm EN, et al. Time course of low- and high-volume strength training on neuromuscular adaptations and muscle quality in older women. *Age (Dordr)* 36: 881–892, 2014.
487. Radaelli R, Brusco CM, Lopez P, et al. Higher muscle power training volume is not determinant for the magnitude of neuromuscular improvements in elderly women. *Exp Gerontol* 110: 15–22, 2018.
488. Ramirez-Campillo R, Castillo A, de la Fuente CI, et al. High-speed resistance training is more effective than low-speed resistance training to increase functional capacity and muscle performance in older women. *Exp Gerontol* 58: 51–57, 2014.
489. Ramsbottom R, Ambler A, Potter J, Jordan B, Nevill A, Williams C. The effect of 6 months training on leg power, balance, and functional mobility of independently living adults over 70 years old. *J Aging Phys Act* 12: 497–510, 2004.
490. Rantanen T, Guralnik JM, Ferrucci L, Leveille S, Fried LP. Coimpairments: Strength and balance as predictors of severe walking disability. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 54: M172–M176, 1999.
491. Raso V, Benard G, DA Silva Duarte AJ, Natale VM. Effect of resistance training on immunological parameters of healthy elderly women. *Med Sci Sports Exerc* 39: 2152–2159, 2007.
492. Raue U, Slivka D, Minchev K, Trappe S. Improvements in whole muscle and myocellular function are limited with high-intensity resistance training in octogenarian women. *J Appl Physiol (1985)* 106: 1611–1617, 2009.
493. Raymond MJ, Bramley-Tzerefos RE, Jeffs KJ, Winter A, Holland AE. Systematic review of high-intensity progressive resistance strength training of the lower limb compared with other intensities of strength training in older adults. *Arch Phys Med Rehabil* 94: 1458–1472, 2013.
494. Reed RL, Pearlmutter L, Yochum K, Meredith KE, Mooradian AD. The relationship between muscle mass and muscle strength in the elderly. *J Am Geriatr Soc* 39: 555–561, 1991.
495. Reed T, Fabsitz RR, Selby JV, Carmelli D. Genetic influences and grip strength norms in the NHLBI twin study males aged 59–69. *Ann Hum Biol* 18: 425–432, 1991.



496. Reeves ND, Narici MV, Maganaris CN. Effect of resistance training on skeletal muscle-specific force in elderly humans. *J Appl Physiol (1985)* 96: 885–892, 2004.
497. Reeves ND, Narici MV, Maganaris CN. In vivo human muscle structure and function: Adaptations to resistance training in old age. *Exp Physiol* 89: 675–689, 2004.
498. Reeves ND, Narici MV, Maganaris CN. Musculoskeletal adaptations to resistance training in old age. *Man Ther* 11: 192–196, 2006.
499. Reid KF, Callahan DM, Carabello RJ, et al. Lower extremity power training in elderly subjects with mobility limitations: A randomized controlled trial. *Aging Clin Exp Res* 20: 337–343, 2008.
500. Reid KF, Fielding RA. Skeletal muscle power: A critical determinant of physical functioning in older adults. *Exerc Sport Sci Rev* 40: 4–12, 2012.
501. Reid KF, Martin KI, Doros G, et al. Comparative effects of light or heavy resistance power training for improving lower extremity power and physical performance in mobility-limited older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 70: 374–380, 2015.
502. Reynolds TH IV, Supiano MA, Dengel DR. Regional differences in glucose clearance: Effects of insulin and resistance training on arm and leg glucose clearance in older hypertensive individuals. *J Appl Physiol (1985)* 102: 985–991, 2007.
503. Rhodes EC, Martin AD, Taunton JE, et al. Effects of one year of resistance training on the relation between muscular strength and bone density in elderly women. *Br J Sports Med* 34: 18–22, 2000.
504. Ribeiro AS, Schoenfeld BJ, Fleck SJ, et al. Effects of traditional and pyramidal resistance training systems on muscular strength, muscle mass, and hormonal responses in older women: A randomized crossover trial. *J Strength Cond Res* 31: 1888–1896, 2017.
505. Ribeiro F, Costa R, Mesquita-Bastos J. Exercise training in the management of patients with resistant hypertension. *World J Cardiol* 7: 47–51, 2015.
506. Riebe D, Franklin BA, Thompson PD, et al. Updating ACSM's recommendations for exercise preparticipation health screening. *Med Sci Sports Exerc* 47: 2473–2479, 2015.
507. Robergs RA, Ghiasvand F, Parker D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 287: R502–R516, 2004.
508. Rockwood K, Mitnitski A. Frailty in relation to the accumulation of deficits. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 62: 722–727, 2007.
509. Rodriguez-Manas L, Fried LP. Frailty in the clinical scenario. *Lancet* 385: e7–e9, 2015.
510. Roman WJ, Fleckenstein J, Stray-Gundersen J, et al. Adaptations in the elbow flexors of elderly males after heavy-resistance training. *J Appl Physiol (1985)* 74: 750–754, 1993.
511. Rooyackers OE, Adey DB, Ades PA, Nair KS. Effect of age on in vivo rates of mitochondrial protein synthesis in human skeletal muscle. *Proc Natl Acad Sci U S A* 93: 15364–15369, 1996.
512. Rose J, McGill KC. Neuromuscular activation and motor-unit firing characteristics in cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 47: 329–336, 2005.
513. Rose SJ, Rothstein JM. Muscle mutability. Part 1. General concepts and adaptations to altered patterns of use. *Phys Ther* 62: 1773–1787, 1982.
514. Rosendahl E, Lindelöf N, Littbrand H, et al. High-intensity functional exercise program and protein-enriched energy supplement for older persons dependent in activities of daily living: A randomised controlled trial. *Aust J Physiother* 52: 105–113, 2006.
515. Rossi A, Zoico E, Goodpaster BH, et al. Quantification of intermuscular adipose tissue in the Erector spinae muscle by MRI: Agreement with histological evaluation. *Obesity (Silver Spring)* 18: 2379–2384, 2010.
516. Roth SM, Ivey FM, Martel GF, et al. Muscle size responses to strength training in young and older men and women. *J Am Geriatr Soc* 49: 1428–1433, 2001.
517. Rothstein JM, Rose SJ. Muscle mutability. Part 2. Adaptation to drugs, metabolic factors, and aging. *Phys Ther* 62: 1788–1798, 1982.
518. Roubenoff R. Sarcopenia: A major modifiable cause of frailty in the elderly. *J Nutr Health Aging* 4: 140–142, 2000.
519. Roubenoff R, Hughes VA. Sarcopenia: Current concepts. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 55: M716–M724, 2000.
520. Rubin MR, Kraemer WJ, Kraemer RR, et al. Responses of growth hormone aggregates to different intermittent exercise intensities. *Eur J Appl Physiol* 89: 166–170, 2003.
521. Ruiz J, Sui X, Lobelo F, et al. Association between muscular strength and mortality in men: Prospective cohort study. *BMJ* 337: a439, 2008.
522. Ryu M, Jo J, Lee Y, Chung YS, Kim KM, Baek WC. Association of physical activity with sarcopenia and sarcopenic obesity in community-dwelling older adults: The fourth Korea National health and nutrition examination survey. *Age and Ageing* 42: 734–740, 2013.
523. Sambrook P, Cooper C. Osteoporosis. *Lancet* 367: 2010–2018, 2006.
524. Sanchez-Medina L, Gonzalez-Badillo JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 43: 1725–1734, 2011.
525. Sardeli AV, Tomeleri CM, Cyrino ES, et al. Effect of resistance training on inflammatory markers of older adults: A meta-analysis. *Exp Gerontol* 111: 188–196, 2018.
526. Sayer AA, Kirkwood TB. Grip strength and mortality: A biomarker of ageing? *Lancet* 386: 226–227, 2015.
527. Sayers SP. High velocity power training in older adults. *Curr Aging Sci* 1: 62–67, 2008.
528. Sayers SP, Gibson K. A comparison of high-speed power training and traditional slow-speed resistance training in older men and women. *J Strength Cond Res* 24: 3369–3380, 2010.
529. Scaglioni G, Ferri A, Minetti AE, et al. Plantar flexor activation capacity and H reflex in older adults: Adaptations to strength training. *J Appl Physiol (1985)* 92: 2292–2302, 2002.
530. Scher LM, Ferrioli E, Moriguti JC, Scher R, Lima NK. The effect of different volumes of acute resistance exercise on elderly individuals with treated hypertension. *J Strength Cond Res* 25: 1016–1023, 2011.
531. Schoenfeld BJ. Postexercise hypertrophic adaptations: A reexamination of the hormone hypothesis and its applicability to resistance training program design. *J Strength Cond Res* 27: 1720–1730, 2013.
532. Schragger MA, Metter EJ, Simonsick E, et al. Sarcopenic obesity and inflammation in the InCHIANTI study. *J Appl Physiol (1985)* 102: 919–925, 2007.
533. Seguin R, Nelson ME. The benefits of strength training for older adults. *Am J Prev Med* 25(3 Suppl 2): 141–149, 2003.
534. Seidler RD, Bernard JA, Burutolu TB, et al. Motor control and aging: Links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neurosci Biobehav Rev* 34: 721–733, 2010.
535. Senechal M, McGavock JM, Church TS, et al. Cut points of muscle strength associated with metabolic syndrome in men. *Med Sci Sports Exerc* 46: 1475–1481, 2014.
536. Serra-Rexach JA, Bustamante-Ara N, Hierro Villaran M, et al. Short-term, light- to moderate-intensity exercise training improves leg muscle strength in the oldest old: A randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 59: 594–602, 2011.
537. Seynnes O, Fiatarone Singh MA, Hue O, et al. Physiological and functional responses to low-moderate versus high-intensity progressive resistance training in frail elders. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 59: 503–509, 2004.
538. Shafiee G, Keshtkar A, Soltani A, et al. Prevalence of sarcopenia in the world: A systematic review and meta-analysis of general population studies. *J Diabetes Metab Disord* 16: 21, 2017.
539. Shah K, Armamento-Villareal R, Parimi N, et al. Exercise training in obese older adults prevents increase in bone turnover and attenuates decrease in hip bone mineral density induced by weight loss despite decline in bone-active hormones. *J Bone Miner Res* 26: 2851–2859, 2011.
540. Sharman MJ, Newton RU, Triplett-McBride T, et al. Changes in myosin heavy chain composition with heavy resistance training in 60- to 75-year-old men and women. *Eur J Appl Physiol* 84: 127–132, 2001.
541. Shaw BS, Shaw I. Effect of resistance training on cardiorespiratory endurance and coronary artery disease risk. *Cardiovasc J S Afr* 16: 256–259, 2005.
542. Shaw BS, Shaw I, Brown GA. Resistance exercise is medicine: Strength training in health promotion and rehabilitation. *Int J Ther Rehabil* 22: 385–389, 2015.

543. Shaw CS, Clark J, Wagenmakers AJ. The effect of exercise and nutrition on intramuscular fat metabolism and insulin sensitivity. *Annu Rev Nutr* 30: 13-34, 2010.
544. Sheridan KJ. Osteoporosis in adults with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 51 (Suppl 4): 38-51, 2009.
545. Sherrington C, Michaleff ZA, Fairhall N, et al. Exercise to prevent falls in older adults: An updated systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 51: 1750-1758, 2017.
546. Sherrington C, Whitney JC, Lord SR, et al. Effective exercise for the prevention of falls: A systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc* 56: 2234-2243, 2008.
547. Shinohara M. Adaptations in motor unit behavior in elderly adults. *Curr Aging Sci* 4: 200-208, 2011.
548. Shiroma EJ, Cook NR, Manson JE, et al. Strength training and the risk of type 2 diabetes and cardiovascular disease. *Med Sci Sports Exerc* 49: 40-46, 2017.
549. Short KR, Nair KS. Mechanisms of sarcopenia of aging. *J Endocrinol Invest* 22(5 Suppl): 95-105, 1999.
550. Shortland A. Muscle deficits in cerebral palsy and early loss of mobility: Can we learn something from our elders? *Dev Med Child Neurol* 51 (Suppl 4): 59-63, 2009.
551. Sillanpaa E, Hakkinen A, Nyman K, et al. Body composition and fitness during strength and/or endurance training in older men. *Med Sci Sports Exerc* 40: 950-958, 2008.
552. Silva NL, Oliveira RB, Fleck SJ, Leon AC, Farinatti P. Influence of strength training variables on strength gains in adults over 55 years-old: A meta-analysis of dose-response relationships. *J Sci Med Sport* 17: 337-344, 2014.
553. Silva RB, Eslick GD, Duque G. Exercise for falls and fracture prevention in long term care facilities: A systematic review and meta-analysis. *J Am Med Dir Assoc* 14: 685-689.e2, 2013.
554. Simao R, de Salles BF, Figueiredo T, Dias I, Willardson JM. Exercise order in resistance training. *Sports Med* 42: 251-265, 2012.
555. Singh MA. Exercise comes of age: Rationale and recommendations for a geriatric exercise prescription. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 57: M262-M282, 2002.
556. Singh NA, Stavrinou TM, Scarbek Y, et al. A randomized controlled trial of high versus low intensity weight training versus general practitioner care for clinical depression in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 60: 768-776, 2005.
557. Sipe C, Ritchie D. The significant 7 principles of functional training for mature adults. *IDEA Fitness J* 9: 42-49, 2012.
558. Skelton DA, Greig CA, Davies JM, Young A. Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65-89 years. *Age Ageing* 23: 371-377, 1994.
559. Skelton DA, Young A, Greig CA, Malbut KE. Effects of resistance training on strength, power, and selected functional abilities of women aged 75 and older. *J Am Geriatr Soc* 43: 1081-1087, 1995.
560. Slemenda C, Brandt KD, Heilman DK, et al. Quadriceps weakness and osteoarthritis of the knee. *Ann Intern Med* 127: 97-104, 1997.
561. Slivka D, Raue U, Hollon C, Minchev K, Trappe S. Single muscle fiber adaptations to resistance training in old (.80 yr) men: Evidence for limited skeletal muscle plasticity. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 295: R273-R280, 2008.
562. Sousa N, Mendes R, Abrantes C, Sampaio J, Oliveira J. Effectiveness of combined exercise training to improve functional fitness in older adults: A randomized controlled trial. *Geriatr Gerontol Int* 14: 892-898, 2014.
563. Sousa N, Mendes R, Monteiro G, Abrantes C. Progressive resistance strength training and the related injuries in older adults: The susceptibility of the shoulder. *Aging Clin Exp Res* 26: 235-240, 2014.
564. Sousa N, Mendes R, Silva A, Oliveira J. Combined exercise is more effective than aerobic exercise in the improvement of fall risk factors: A randomized controlled trial in community-dwelling older men. *Clin Rehabil* 31: 478-486, 2017.
565. Souza AH, Farias MI, Salvatori R, et al. Lifetime, untreated isolated GH deficiency due to a GH-releasing hormone receptor mutation has beneficial consequences on bone status in older individuals, and does not influence their abdominal aorta calcification. *Endocrine* 47: 191-197, 2014.
566. Spiering BA, Kraemer WJ, Anderson JM, et al. Resistance exercise biology: Manipulation of resistance exercise programme variables determines the responses of cellular and molecular signalling pathways. *Sports Med* 38: 527-540, 2008.
567. Spirduso WW, Cronin DL. Exercise dose-response effects on quality of life and independent living in older adults. *Med Sci Sports Exerc* 33(6 Suppl): S598-S608, 2001; discussion S9-10.
568. Spruit MA, Sillen MJH, Groenen MTJ, Wouters EFM, Franssen FME. New normative values for handgrip strength: Results from the UK Biobank. *J Am Med Dir Assoc* 14: 775.e5-775.e11, 2013.
569. Stackhouse SK, Stapleton MR, Wagner DA, McClure PW. Voluntary activation of the infraspinatus muscle in nonfatigued and fatigued states. *J Shoulder Elbow Surg* 19: 224-229, 2010.
570. National Center for Health Statistics. *Survey Description, National Health Interview Survey, 2015*. Hyattsville, Maryland: National Center for Health Statistics, 2016.
571. Steele J, Bruce-Low S, Smith D, Jessop D, Osborne N. A randomized controlled trial of limited range of motion lumbar extension exercise in chronic low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 38: 1245-1252, 2013.
572. Steffens DC, Fisher GG, Langa KM, Potter GG, Plassman BL. Prevalence of depression among older Americans: The aging, demographics and memory study. *Int Psychogeriatr* 21: 879-888, 2009.
573. Steib S, Schoene D, Pfeifer K. Dose-response relationship of resistance training in older adults: A meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 42: 902-914, 2010.
574. Stenholm S, Harris TB, Rantanen T, et al. Sarcopenic obesity: Definition, cause and consequences. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 11: 693-700, 2008.
575. Stenroth L, Peltonen J, Cronin NJ, Sipila S, Finni T. Age-related differences in Achilles tendon properties and triceps surae muscle architecture in vivo. *J Appl Physiol (1985)* 113: 1537-1544, 2012.
576. Stensvold D, Tjonna AE, Skaug EA, et al. Strength training versus aerobic interval training to modify risk factors of metabolic syndrome. *J Appl Physiol (1985)* 108: 804-810, 2010.
577. Stevens LA, Viswanathan G, Weiner DE. Chronic kidney disease and end-stage renal disease in the elderly population: Current prevalence, future projections, and clinical significance. *Adv Chronic Kidney Dis* 17: 293-301, 2010.
578. Stevenson LW, Massie BM, Francis GS. Optimizing therapy for complex or refractory heart failure: A management algorithm. *Am Heart J* 135(6 Pt 2 Su): S293-S309, 1998.
579. Stewart KJ, Bacher AC, Turner KL, et al. Effect of exercise on blood pressure in older persons: A randomized controlled trial. *Arch Intern Med* 165: 756-762, 2005.
580. Straight CR, Lindheimer JB, Brady AO, Dishman RK, Evans EM. Effects of resistance training on lower-extremity muscle power in middle-aged and older adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Sports Med* 46: 353-364, 2016.
581. Strasser B, Keinrad M, Haber P, Schobersberger W. Efficacy of systematic endurance and resistance training on muscle strength and endurance performance in elderly adults—A randomized controlled trial. *Wien Klin Wochenschr* 121: 757-764, 2009.
582. Strasser B, Schobersberger W. Evidence for resistance training as a treatment therapy in obesity. *J Obes* 2011: pii: 482564, 2011.
583. Suetta C, Aagaard P, Rosted A, et al. Training-induced changes in muscle CSA, muscle strength, EMG, and rate of force development in elderly subjects after long-term unilateral disuse. *J Appl Physiol (1985)* 97: 1954-1961, 2004.
584. Suetta C, Andersen JL, Dalgas U, et al. Resistance training induces qualitative changes in muscle morphology, muscle architecture, and muscle function in elderly postoperative patients. *J Appl Physiol (1985)* 105: 180-186, 2008.
585. Suetta C, Hvid LG, Justesen L, et al. Effects of aging on human skeletal muscle after immobilization and retraining. *J Appl Physiol (1985)* 107: 1172-1180, 2009.
586. Sullivan DH, Roberson PK, Smith ES, Price JA, Bopp MM. Effects of

- muscle strength training and megesterol acetate on strength, muscle mass, and function in frail older people. *J Am Geriatr Soc* 55: 20–28, 2007.
587. Sullivan DH, Wall PT, Bariola JR, Bopp MM, Frost YM. Progressive resistance muscle strength training of hospitalized frail elderly. *Am J Phys Rehabil* 80: 503–509, 2001.
588. Suzuki T, Shimada H, Makizako H, et al. Effects of multicomponent exercise on cognitive function in older adults with amnesic mild cognitive impairment: A randomized controlled trial. *BMC Neurol* 12: 128, 2012.
589. Taaffe DR, Duret C, Wheeler S, Marcus R. Once-weekly resistance exercise improves muscle strength and neuromuscular performance in older adults. *J Am Geriatr Soc* 47: 1208–1214, 1999.
590. Taekema DG, Gussekloo J, Maier AB, Westendorp RGJ, de Craen AJM. Handgrip strength as a predictor of functional, psychological and social health. A prospective population-based study among the oldest old. *Age Ageing* 39: 331–337, 2010.
591. Tanasescu M, Leitzmann MF, Rimm EB, et al. Exercise type and intensity in relation to coronary heart disease in men. *JAMA* 288: 1994–2000, 2002.
592. Tapps T, Passmore T, Lindenmeier D, Bishop A. An investigation into the effects of resistance based physical activity participation on depression in older adults in a long-term care facility. *Annu Ther Recreation* 21: 63–72, 2013.
593. Tarazona-Santabalbina FJ, Gomez-Cabrera MC, Perez-Ros P, et al. A multicomponent exercise intervention that reverses frailty and improves cognition, emotion, and social networking in the community-dwelling frail elderly: A randomized clinical trial. *J Am Med Dir Assoc* 17: 426–433, 2016.
594. Tarnopolsky M, Zimmer A, Paikin J, et al. Creatine monohydrate and conjugated linoleic acid improve strength and body composition following resistance exercise in older adults. *PLoS One* 2: e991, 2007.
595. Taylor D, Hale L, Schluter P, et al. Effectiveness of tai chi as a community-based falls prevention intervention: A randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 60: 841–848, 2012.
596. Tesch PA, Fernandez-Gonzalo R, Lundberg TR. Clinical applications of iso-inertial, eccentric-overload (YoYo) resistance exercise. *Front Physiol* 8: 241, 2017.
597. Tetsuka K, Hoshi T, Sumiya E, et al. The influence of aging on renal blood flow in human beings. *J Med Ultrason* (2001) 30: 247–251, 2003.
598. Teumer A, Qi Q, Nethander M, et al. Genomewide meta-analysis identifies loci associated with IGF-I and IGFBP-3 levels with impact on aged-related traits. *Ageing Cell* 15: 811–824, 2016.
599. Teychenne M, Ball K, Salmon J. Sedentary behavior and depression among adults: A review. *Int J Behav Med* 17: 246–254, 2010.
600. Theou O, Jones GR, Vandervoort AA, Jakobi JM. Daily muscle activity and quiescence in non-frail, pre-frail, and frail older women. *Exp Gerontol* 45: 909–917, 2010.
601. Thomis MA, Beunen GP, Maes HH, et al. Strength training: Importance of genetic factors. *Med Sci Sports Exerc* 30: 724–731, 1998.
602. Thompson BJ, Ryan ED, Herda TJ, Costa PB, Herda AA, Cramer JT. Age-related changes in the rate of muscle activation and rapid force characteristics. *Age (Dordr)* 36: 839–849, 2014.
603. Thompson BJ, Ryan ED, Sobolewski EJ, Conchola EC, Cramer JT. Age related differences in maximal and rapid torque characteristics of the leg extensors and flexors in young, middle-aged and old men. *Exp Gerontol* 48: 277–282, 2013.
604. Tomlinson DJ, Erskine RM, Winwood K, Morse CI, Onambele GL. The impact of obesity on skeletal muscle architecture in untrained young vs. old women. *J Anat* 225: 675–684, 2014.
605. Topp R, Boardley D, Morgan AL, Fahlman M, McNeven N. Exercise and functional tasks among adults who are functionally limited. *West J Nurs Res* 27: 252–270, 2005.
606. Tracy BL, Byrnes WC, Enoka RM. Strength training reduces force fluctuations during anisometric contractions of the quadriceps femoris muscles in old adults. *J Appl Physiol* (1985) 96: 1530–1540, 2004.
607. Tracy BL, Ivey FM, Hurlbut D, et al. Muscle quality. II. Effects of strength training in 65- to 75-yr-old men and women. *J Appl Physiol* (1985) 86: 195–201, 1999.
608. Trappe S, Godard M, Gallagher P, et al. Resistance training improves single muscle fiber contractile function in older women. *Am J Physiol Cell Physiol* 281: C398–C406, 2001.
609. Trappe S, Williamson D, Godard M, Porter D, Rowden G, Costill D. Effect of resistance training on single muscle fiber contractile function in older men. *J Appl Physiol* (1985) 89: 143–152, 2000.
610. Treadwell JR, Singh S, Talati R, McPheeters ML, Reston JT. *A Framework for “Best Evidence” Approaches in Systematic Reviews*. Rockville, MD: Agency for Healthcare Research and Quality (US), 2011. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK56653/>. Accessed June 11, 2018.
611. Treuth MS, Ryan AS, Pratley RE, et al. Effects of strength training on total and regional body composition in older men. *J Appl Physiol* (1985) 77: 614–620, 1994.
612. Trinh A, Wong P, Fahey MC, et al. Musculoskeletal and endocrine health in adults with cerebral palsy: New opportunities for intervention. *J Clin Endocrinol Metab* 101: 1190–1197, 2016.
613. Trouwborst I, Verreijen A, Memelink R, et al. Exercise and nutrition strategies to counteract sarcopenic obesity. *Nutrients* 10: pii E605, 2018.
614. Tsai CL, Wang CH, Pan CY, Chen FC. The effects of long-term resistance exercise on the relationship between neurocognitive performance and GH, IGF-1, and homocysteine levels in the elderly. *Front Behav Neurosci* 9: 23, 2015.
615. Tschopp M, Sattelmayer MK, Hilfiker R. Is power training or conventional resistance training better for function in elderly persons? A metaanalysis. *Age Ageing* 40: 549–556, 2011.
616. Tsutsumi T, Don BM, Zaichkowsky LD, Delizonna LL. Physical fitness and psychological benefits of strength training in community dwelling older adults. *Appl Hum Sci* 16: 257–266, 1997.
617. Tsutsumi T, Don BM, Zaichkowsky LD, Takenaka K, Oka K, Ohno T. Comparison of high and moderate intensity of strength training on mood and anxiety in older adults. *Percept Mot Skills* 87: 1003–1011, 1998.
618. Tuttle LJ, Sinacore DR, Mueller MJ. Intermuscular adipose tissue is muscle specific and associated with poor functional performance. *J Aging Research* 2012: 172957, 2012.
619. Unhjem R, Lundestad R, Fimland MS, Mosti MP, Wang E. Strength training-induced responses in older adults: Attenuation of descending neural drive with age. *Age (Dordr)* 37: 9784, 2015.
620. Unhjem R, Nygard M, van den Hoven LT, et al. Lifelong strength training mitigates the age-related decline in efferent drive. *J Appl Physiol* (1985) 121: 415–423, 2016.
621. Valenzuela T. Efficacy of progressive resistance training interventions in older adults in nursing homes: A systematic review. *J Am Med Directors Assoc* 13: 418–428, 2012.
622. Valkeinen H, Häkkinen K, Pakarinen A, et al. Muscle hypertrophy, strength development, and serum hormones during strength training in elderly women with fibromyalgia. *Scand J Rheumatol* 34: 309–314, 2005.
623. Vaughan S, Wallis M, Polit D, Steele M, Shum D, Morris N. The effects of multimodal exercise on cognitive and physical functioning and brain-derived neurotrophic factor in older women: A randomised controlled trial. *Age Ageing* 43: 623–629, 2014.
624. Vellers HL, Kleeberger SR, Lightfoot JT. Inter-individual variation in adaptations to endurance and resistance exercise training: Genetic approaches towards understanding a complex phenotype. *Mamm Genome* 29: 48–62, 2018.
625. Venturelli M, Lanza M, Muti E, Schena F. Positive effects of physical training in activity of daily living-dependent older adults. *Exp Aging Res* 36: 190–205, 2010.
626. Vettor R, Milan G, Franzin C, et al. The origin of intermuscular adipose tissue and its pathophysiological implications. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 297: E987–E998, 2009.
627. Villareal DT, Smith GI, Sinacore DR, Shah K, Mittendorfer B. Regular multicomponent exercise increases physical fitness and muscle protein anabolism in frail, obese, older adults. *Obesity (Silver Spring)* 19: 312–318, 2011.
628. Villareal DT, Steger-May K, Schechtman KB, et al. Effects of exercise training on bone mineral density in frail older women and men: A randomised controlled trial. *Age Ageing* 33: 309–312, 2004.
629. Vincent KR, Braith RW, Feldman RA, et al. Resistance exercise and



- physical performance in adults aged 60 to 83. *J Am Geriatr Soc* 50: 1100–1107, 2002.
630. Vincent KR, Vincent HK, Braith RW, Lennon SL, Lowenthal DT. Resistance exercise training attenuates exercise-induced lipid peroxidation in the elderly. *Eur J Appl Physiol* 87: 416–423, 2002.
631. Vingren JL, Kraemer WJ, Ratamess NA, et al. Testosterone physiology in resistance exercise and training: The up-stream regulatory elements. *Sports Med* 40: 1037–1053, 2010.
632. Visser M, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, et al. Muscle mass, muscle strength, and muscle fat infiltration as predictors of incident mobility limitations in well-functioning older persons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 60: 324–333, 2005.
633. Visser M, Pahor M, Taaffe DR, et al. Relationship of interleukin-6 and tumor necrosis factor- $\alpha$  with muscle mass and muscle strength in elderly men and women: The health ABC study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 57: M326–M332, 2002.
634. Visser M, Simonsick EM, Colbert LH, et al. Type and intensity of activity and risk of mobility limitation: The mediating role of muscle parameters. *J Am Geriatr Soc* 53: 762–770, 2005.
635. Volkert J, Schulz H, Harter M, Włodarczyk O, Andreas S. The prevalence of mental disorders in older people in Western countries—A meta-analysis. *Ageing Res Rev* 12: 339–353, 2013.
636. Walker S, Santolamazza F, Kraemer W, Hakkinen K. Effects of prolonged hypertrophic resistance training on acute endocrine responses in young and older men. *J Aging Phys Act* 23: 230–236, 2015.
637. Walston J, Fried LP. Frailty and the older man. *Med Clin North Am* 83: 1173–1194, 1999.
638. Webber SC, Porter MM, Menec VH. Mobility in older adults: A comprehensive framework. *Gerontologist* 50: 443–450, 2010.
639. Weiss CO. Frailty and chronic diseases in older adults. *Clin Geriatr Med* 27: 39–52, 2011.
640. Welle S, Thornton C, Jozefowicz R, Statt M. Myofibrillar protein synthesis in young and old men. *Am J Physiol* 264: E693–E698, 1993.
641. Welle S, Thornton C, Statt M. Myofibrillar protein synthesis in young and old human subjects after three months of resistance training. *Am J Physiol* 268: E422–E427, 1995.
642. West S, King V, Carey TS, et al. Systems to rate the strength of scientific evidence. *Evid Rep Technol Assess (Summ)* 47: 1–11, 2002.
643. Westcott WL. Resistance training is medicine: Effects of strength training on health. *Curr Sports Med Rep* 11: 209–216, 2012.
644. Whelton PK, Carey RM, Aronow WS, et al. 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA guideline for the prevention, detection, evaluation, and management of high blood pressure in adults: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on clinical practice guidelines. *J Am Coll Cardiol* 71: e127–e248, 2018.
645. Whitney DG, Singh H, Miller F, et al. Cortical bone deficit and fat infiltration of bone marrow and skeletal muscle in ambulatory children with mild spastic cerebral palsy. *Bone* 94: 90–97, 2017.
646. WHO. *International Classification of Functioning, Disability, and Health: ICF*. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2001.
647. Williams MA, Haskell WL, Ades PA, et al. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update: A scientific statement from the American Heart Association Council on clinical Cardiology and Council on nutrition, physical activity, and metabolism. *Circulation* 116: 572–584, 2007.
648. Williams MA, Stewart KJ. Impact of strength and resistance training on cardiovascular disease risk factors and outcomes in older adults. *Clin Geriatr Med* 25: 703–714, 2009; ix.
649. Wong E, Backholer K, Gearon E, et al. Diabetes and risk of physical disability in adults: A systematic review and meta-analysis. *Lancet Diabetes Endocrinol* 1: 106–114, 2013.
650. Wood RH, Reyes R, Welsch MA, et al. Concurrent cardiovascular and resistance training in healthy older adults. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1751–1758, 2001.
651. Wright NC, Looker AC, Saag KG, et al. The recent prevalence of osteoporosis and low bone mass in the United States based on bone mineral density at the femoral neck or lumbar spine. *J Bone Miner Res* 29: 2520–2526, 2014.
652. Writing Group M, Mozaffarian D, Benjamin EJ, et al. Heart disease and stroke statistics-2016 update: A report from the American heart association. *Circulation* 133: e38–360, 2016.
653. Wu Y, Wang W, Liu T, Zhang D. Association of grip strength with risk of all-cause mortality, cardiovascular diseases, and cancer in community-dwelling populations: A meta-analysis of prospective cohort studies. *J Am Med Dir Assoc* 18: 551.e17–551.e35, 2017.
654. Xue QL. The frailty syndrome: Definition and natural history. *Clin Geriatr Med* 27: 1–15, 2011.
655. Xue QL, Beamer BA, Chaves PH, Guralnik JM, Fried LP. Heterogeneity in rate of decline in grip, hip, and knee strength and the risk of all-cause mortality: The women's health and aging study II. *J Am Geriatr Soc* 58: 2076–2084, 2010.
656. Yamada M, Arai H, Sonoda T, Aoyama T. Community-based exercise program is cost-effective by preventing care and disability in Japanese frail older adults. *J Am Med Dir Assoc* 13: 507–511, 2012.
657. Yang Z, Scott CA, Mao C, Tang J, Farmer AJ. Resistance exercise versus aerobic exercise for type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 44: 487–499, 2014.
658. Yarasheski KE, Zachwieja JJ, Campbell JA, Bier DM. Effect of growth hormone and resistance exercise on muscle growth and strength in older men. *Am J Physiol* 268: E268–E276, 1995.
659. Yue GH, Ranganathan VK, Siemionow V, Liu JZ, Sahgal V. Older adults exhibit a reduced ability to fully activate their biceps brachii muscle. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 54: M249–M253, 1999.
660. Zanusso S, Sieverdes JC, Smith N, Carraro A, Bergamin M. The effect of a strength training program on affect, mood, anxiety, and strength performance in older individuals. *Int J Sport Psychol* 43: 53–66, 2012.
661. Zhang P, Peterson M, Su GL, Wang SC. Visceral adiposity is negatively associated with bone density and muscle attenuation. *Am J Clin Nutr* 101: 337–343, 2015.
662. Zoico E, Rossi A, Di Francesco V, et al. Adipose tissue infiltration in skeletal muscle of healthy elderly men: Relationships with body composition, insulin resistance, and inflammation at the systemic and tissue level. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 65: 295–299, 2010.
663. Zwijsen SA, Depla MF, Niemeijer AR, Francke AL, Hertogh CM. The concept of restraint in nursing home practice: A mixed-method study in nursing homes for people with dementia. *Int Psychogeriatr* 23: 826–834, 2011.