

National Strength and Conditioning Association Position Statement

Health Aspects of Resistance Exercise and Training

レジスタンストレーニングの健康に関する側面

Michael S. Conley, MD, PhD, CSCS

Department of Radiology, Indiana University Medical Center, Indianapolis, Indiana

Ralph Rozenek, PhD

Department of Kinesiology and Physical Education, California State University Long Beach, Long Beach, California

Key Words [エクササイズ *exercise* | レジスタンストレーニング *resistance training* | 健康 *health*]

フリーウェイト、ウェイトマシン、自重、エラスティックバンド、およびその他の機器を使用するレジスタンストレーニング(以下、RT)は、筋力、筋パワー、筋持久力を高めるものであり、運動の形態として飛躍的に一般的になってきている。RT を推奨するいくつかの文献は、最近までは健康者を対象としたものがほとんどであった(2,43)。しかし近年では、心臓疾患を有する患者のリハビリテーション(158)や高齢者(3)に対しての RT の使用が提唱されてきている。また、RT は筋サイズ、筋力、およびパワーを高め、競技パフォーマンスの向上に有用なことが一般的に認められている。

RT から得られる効果は、プログラムの中で操作できる多くの変数によって強く影響を受ける。負荷、量、強度、活動する筋量、筋収縮様式、休息时间、機器の種類、テクニック、トレーニング開始時の体力レベル、トレーニング経験、およびプログラムの形式といった変数のすべてが、エクササイズに対する反応の程度と時間に影響を及ぼし、最終的にはトレーニングに対する適応に影響する。綿密に計画された RT プログラムが健康に及ぼす効果については、科学的証拠による根拠がある。RT と健康に関する利用可能な文献を参照した NSCA の見解は、次の通りである。

1. RT は、以下の過程を経ることで心臓血管系疾患に関するいくつかの危険因子を軽減させ、心臓血管系の健康状態を改善させる可能性がある
 - a. 高血圧患者の安静時血圧を低下させる
 - b. 標準的な運動中の心拍数、血圧、および Rate pressure product (RPP) を減少させる

- c. 血中脂質プロファイルの適度な改善
 - d. 糖尿病患者の耐糖能の改善、およびヘモグロビン A1c の減少
2. RT は、除脂肪体重の維持または増加と、それに伴う相対的な体脂肪率の減少を促すことで、身体組成を改善させる可能性がある
 3. RT は骨ミネラル濃度の増加を促すことができ、その加齢による低下を軽減するため、骨粗鬆症の発症遅延または防止が期待できる
 4. RT は心身症とうつ病の防止につながる可能性がある。また、自己効力感と精神的健康への効果も期待できる
 5. RT は、スポーツや身体活動による傷害の危険性を軽減できる。正確で適切な監督下で行う限り、トレーニング自体は本質的に傷害の危険性が低く、安全な身体活動である
 6. RT は筋力と筋持久力を高めることができる。それによって日常生活の活動を行う能力が向上し、筋骨格系、心臓血管系、および代謝系への負担が減少する

■ 心臓血管系および心血管系危険因子に対する効果

心拍数

心拍数は、急激なレジスタンスエクササイズを行うことで著しく上昇する。この反応の大きさは、運動強度、負荷、および活動する筋量といった要因に、影響を受けると考えられる(17,84,85,132,148)。一般的にレジスタンスエクササイズは断続的に行われるので、平均心拍数も、セット間やエクササイズ間における休息時間の長さによって大きく影響を受ける可能性がある。従って、1回のエクササイズ中の平均心拍数は、体感した心臓血管系ストレスを正確に反映していないかもしれない。また、強度の正確な評価に用いることができない。

安静時心拍数、および任意のパワー発揮時における最大下心拍数の減少は、持久的トレーニングに対する適応現象として広く認識されている(59,102)。一方、RTに関する横断的研究の大部分は、RTを行っているアスリートの安静時心拍数は一般的な平均値以下であることを報告している(115,134,135)。トレーニング実験を行った研究では、安静時心拍数が低下した(77,89,90,146)、あるいは有意な変化はなかった(124,130,150)とするものもある。安静時心拍数が低下した研究では、その変化は比較的小さかったと報告されている(およそ3~10%)。結果に差がみられた要因としては、恐らくプログラム変数が異なっていたためと考えられる。



RT は、最大下強度での運動における心拍数(8,50,121,124,144)、およびエクササイズ後の回復期における心拍数(89,109,145,146)を減少させることが示されている。RT を行った結果、最大下の自転車運動中(123)や、絶対的負荷が同じ漸進的レジスタンスエクササイズ中(124)の心拍数が低下したという報告もある。これは、RT によって副交感神経系の活動に対する交感神経系の活動の割合が低下することが原因と考えられている。

トレーニング後の心拍数減少は、1 回拍出量の増加によって代償されていると思われる。1 回拍出量の増加は、安静時あるいは絶対的な最大下運動中における心拍出量の一定化を可能にする。心拍数は心筋の酸素需要量を決定する一因子である。安静時あるいは最大下運動中の心拍数の減少は、心筋の酸素需要量の低下を引き起こす可能性がある。

血圧

血圧は、心拍出量と総末梢血管抵抗との積で表され、神経系、代謝系、心臓血管系、および内分泌系因子の複雑な相互作用によって制御されると考えられている(136)。高血圧症のような慢性高血圧は、冠状動脈疾患を引き起こす単独危険因子であり、他の多くの心臓血管障害に関係する(104)。

強い筋収縮により、収縮期および拡張期血圧は増加することが知られている。ボディビルダーにレッグプレスを95%1RMで2レップ行わせた実験(99)と、被験者にバルサルバ法を用いながら100%1RMでレッグプレスを行わせた実験(117)では、平均血管内血圧が収縮期

350mmHg、拡張期 250mmHg にまで上昇したことが報告されている。しかし、他の研究では約230/130mmHgまでの上昇であったという報告もある(148)。収縮期および拡張期血圧の上昇は、交感神経の亢進、および活動筋への血流量の制限に起因する peripheral reflex によるものと報告されている(74,133)。血圧増加の程度は、筋の活動様式、強度、時間、動員される筋量、および呼吸法(117,119,144)に関係すると思われる。

横断的研究の大部分は、筋力系アスリートとコントロール群には、安静時血圧に有意差は認められないと報告している(117,119,144)。同様にほとんどのトレーニング研究では、正常な血圧の被験者における安静時血圧は、トレーニングによって変化はみられなかったか、あるいはやや減少したと報告されている(39,40,74,150)。一方、高血圧患者と境界型高血圧の者を対象とした研究では、RT 後に安静時血圧が有意に低下したと報告されている(54,61)。Kelly(80,81)は最近のメタ分析で、短期間の RT 後に、安静時において収縮期血圧が約4.5mmHg、拡張期血圧が3.8mmHg 低下すると報告している。これらの結果は、有酸素性トレーニングの効果を検証した他のメタ分析研究(56)よりも優れていた(安静時において収縮期血圧4.7mmHg、拡張期血圧3.1mmHg 低下)。安静時血圧に対する RT の効果は様々なかたちで報告されているが、より多量のトレーニング、あるいはサーキットトレーニングを行った場合に安静時血圧の低下が認められるようである。安静時拡張期血圧の適度な減少が、心臓発作の危険性の低減と冠状



動静脈疾患の進行停滞に関係する(18,100)ため、トレーニングによる安静時血圧の減少は重要である。

確認されている RT に対する適応の中で、有益なものは、運動中の血圧上昇の抑制である(20,40,49,50,107,133)。任意の重量を挙上するのに必要な筋力の減少は、心臓血管系の制御中枢への刺激の減少と同様に、トレーニング後に観察された血圧反応の低下に寄与する可能性がある(133)。圧受容器の感度変化が、この反応の制御に関係する可能性がある(152)。収縮期血圧は、心筋の酸素需要量の直接的な決定因子である。トレーニング後における、標準運動負荷時の収縮期血圧の減少は、心筋の酸素需要量を減少させ、さらに、高重量でのエクササイズや日常生活での心臓血管系への激しい負担を軽減する可能性があると思われる。

心臓血管系疾患の危険性がある患者にレジスタンスエクササイズを処方する場合は、注意が必要であるが、処方を避けるべきだという意味ではない(36,101)。エクササイズ中の血圧反応を最小限にするために、いくつかの手順を採用することができる。それには、(a) 動的な運動を強調する、(b) バルサルバ法を避けた適切な呼吸法、(c) トレーニングにおける最大の努力を減らす、または行わないようにする、(d) トレーニング後に疲労困憊にならないように、反復回数を制限する、(e) 適度な負荷の使用、(f) 適切なテクニックの強調などが挙げられる。

Rate pressure product

Rate pressure product (RPP) は心筋の仕事量と酸素需要量を推定するものであり、心拍数と収縮期血圧との積によって評価できる。RPP は虚血性心疾患 (Ischemic heart disease: IHD) に関係するため、この評価は特に重要な可能性がある。IHD には、心筋の酸素需給のアンバランスから発生するいくつかの障害が含まれる。レジスタンスエクササイズ中、トレーニング強度や動員される筋量などの因子によって RPP は急速に上昇する(5,86)。また、任意の強度に対してより多くのセットを行うと、RPP はさらに急激に上昇するとされている(86)。

健康者(150)、高齢者(121)、および心疾患患者(101)を対象に RT を行わせたいくつかの研究では、安静時および最大下運動中の RPP 低下が認められたと報告している。また、脚エルゴメータ運動中における RPP を測定したところ、非活動的な被験者群よりも、ボディビルダーの方がより低いことが報告されている(16)。これらの観察された RPP の低下は、先ほど述べたような任意の活動レベルに対する心拍数と血圧低下の相互作用によると思われる。

安静時および最大下運動時における RPP の低下は、特に IHD を有する患者にとって、好ましい適応であると考えられる。狭心症を誘発する程の RPP はエクササイズ後に変動しないものの、一定の絶対的工作量に対する心拍数と血圧はより低くなる(60)。従って、トレーニング時と同じ RPP に到達するためには、より高い仕事量が要求されることになる。この適応によって、身体活動中の虚血性心疾患の可



能性が軽減されるであろう。

有酸素性パワー

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の測定から評価される有酸素性パワーは、心肺機能の指標として古くから利用されてきたが、冠状動脈疾患の進行に対する独立危険因子であるとは考えられていない。 $\dot{V}O_{2max}$ は、年齢、性差、および遺伝などに依存することが明らかになっている。個人の心肺機能の初期レベルと同様に、運動様式、強度、時間、および頻度といった変数のすべてが、 $\dot{V}O_{2max}$ の変化に影響を及ぼすものと思われる。

従来の RT は、一般に有酸素性パワーの増加には関係しない(サーキットトレーニングは除く)。しかし、有酸素性エクササイズをほとんど行わない筋力系アスリートは、一般人よりも $\dot{V}O_{2max}$ がより高いことが示されている(34,134,149)。いくつかの縦断的研究では、短期間の RT によって $\dot{V}O_{2max}$ は変化しなかったか、あるいはわずかに増加 (<5%) したのみであったと報告されている(35,68,116)。一方、大筋群を動員する多関節エクササイズで構成されている多量のトレーニングを行わせたところ、 $\dot{V}O_{2max}$ のより大きな向上(8~10%)が観察されたという報告もある(150)。この向上は有酸素性エクササイズを行った研究よりは低いものの、多量のトレーニングを採用することで RT によっても有酸素性代謝を改善できることが示唆される(147)。この $\dot{V}O_{2max}$ の増加は、酸素の輸送と利用を改善する心臓、末梢血管、そして筋の適応の相互作用に起因している。しかし、その正確なメカニズムは明らかではな

い。トレーニングによる除脂肪体重の割合の増加も関係している可能性が考えられる。

心疾患患者のリハビリテーションとしてサーキット・ウェイトトレーニングを用いた研究では、 $\dot{V}O_{2max}$ が相対的に約 11~19% 増加した(53,151)。また、サーキット・ウェイトトレーニングを行っている境界型高血圧の被験者を対象に、トレッドミル走および腕エルゴメータ運動を行わせたところ、 $\dot{V}O_{2max}$ が 8~21% 増加したという報告もある(61)。

有酸素性パワーの増加は、有酸素性代謝によるエネルギー産生能力が要求されるアスリートに有益である。標準的な最大下のパワー発揮時においては、無酸素性代謝の貢献度は低く、むしろエネルギーの大半は有酸素性代謝によって産生される。これは、急性的な代謝ストレスを軽減し、潜在的な仕事の時間の延長、疲労の軽減をもたらす。しかし、有酸素性パワーを高める特定のトレーニングは、最大筋力と最大パワーを制限する可能性がある(27,66)。従って、プログラムの目標に関しては注意深い分析が必要となる。

血中脂質およびリポタンパク

高脂血症は、しばしば冠状動脈疾患、アテローム性動脈硬化症、糖尿病、およびネフローゼ症候群などに関係する。有酸素性トレーニングが血中脂質とリポタンパクレベルを改善させることは、一般的に認識されている(28)。しかし、最近では RT の効果が論争的になっている。ウェイトトレーニング経験者と非活動的なコントロール群(いずれも男性)の間で、血中脂質とリポタンパクレベルの有意な差は観



察されていない(6,7,15,37)。しかし、これらの研究では、トレーニングの様式、量、または強度、食事、男性ホルモンの使用などの因子のコントロールは行っていなかった。男性ホルモンの使用を制限している筋力系アスリートの場合、脂質プロフィールが陽性を示したという報告がある(23,72,167,168)。

それぞれの研究結果では矛盾が生じているものの、いくつかの縦断的研究(145を参照)では、総コレステロール(3~16%)および低比重リポタンパク(5~39%)の減少、高比重リポタンパク(14~27%)の増加といった、RTに起因する血中脂質とリポタンパクレベルの著しい変化が示されている。しかしこれらの結果は、血中脂質とリポタンパクレベル、食事、そして身体組成の基準値が適切にコントロールされていない研究も含んでおり、方法論的な制限がいくつか存在するため、注意深く解釈しなければならない(73)。血中脂質およびリポタンパクプロフィールに対するRTの効果に関して決定的な結論を導く前に、より多くの研究が必要であると考えられる。

耐糖能

耐糖能異常は、非インスリン依存型糖尿病、冠状動脈疾患、白内障、心臓発作、間欠性跛行、網膜症、ネフロパシー、および感染症発現の危険性など、多くの疾病増加の危険性に関係している。収縮活動はグルコース輸送を促進させ、骨格筋中においてインスリン様効果を示す(63)。これは組織におけるグルコース感受性と、その吸収を促進する。また、時間とともに、高濃度のグルコースの循環による変性

の影響を弱めると思われる。

ボディビルダーと一般人を比較したところ、ボディビルダーでは耐糖能とインスリン感受性が改善されたという報告がある(168)。また縦断的研究においても(112,139,140)、RTが耐糖能を改善することが示されている。さらに、インスリン感受性の改善は、有酸素性トレーニングを用いた研究(30)と比較して、RTを行った方がより大きいことも明らかにされている。RTは、短期的には、運動中および直後において筋中へのグルコース輸送を増加させる。また長期的には、除脂肪体重を増加させて血中グルコースの取り込みが可能な組織量を増大させる。これらによって、耐糖能を改善させる可能性がある。このことは、ある種のグルコース感受性不全を有する患者への投薬量を減少させることに貢献し、グルコースレベルの制御および安定性を改善する。最近の研究では、RTプログラムに従事していた糖尿病患者におけるヘモグロビンA1c(HbA1c)の減少が報告されており(29,30,69)、上記の説が支持されている。このように、糖尿病患者に関係する医療従事者がRTを支援する証拠が増加している。

■ エネルギー消費および身体組成に対する効果

体脂肪量と除脂肪体重の割合が身体組成を決定する。貯蔵脂肪はメインのエネルギー貯蔵形式であり、正常な生理的機能にとって不可欠な必須脂肪で構成されている。脂肪の形によるエネルギーの過剰蓄積と定義される



肥満は、高血圧症、高脂血症、心臓病、冠状動脈疾患、インスリン抵抗性、糖尿病、および骨関節炎を含む、様々な内科的障害に関係する。

エネルギー消費

レジスタンスエクササイズは、エネルギー消費を適度に増加させることが明らかにされている(4,71,79,156)。さらに、より大きな筋群を動員する動作を組み合わせると、エネルギー消費がより大きいことも報告されている(135)。また、レジスタンスエクササイズは、酸素負債に示されるような回復中におけるエネルギー消費を増加させる(11,135)。加えて RT は、特に高齢者の安静時代謝率を上げることが示されており(12,125,127)、1 日当たりの平均エネルギー消費量が増加することも報告されている(160)。

脂肪量

脂肪はレジスタンスエクササイズ中の主要な燃料源とはみなされていないが、レジスタンスエクササイズの急性効果として、筋中(31)、および血清中のトリグリセリド(162)の減少が報告されている。RT を行っている被験者におけるエクササイズ後の呼吸交換比は、運動後 3 時間まではエクササイズ前よりも低い値を維持し、かつ、睡眠中は減少することが示されている。これは基質酸化に脂肪がより多く利用されたことを示している(159)。時間経過に伴う脂質酸化の増加は、貯蔵されている体脂肪を減少する可能性がある。RT 後の高齢女性において、腹腔内に蓄積した脂肪の減少が観察

された(155)。内臓、特に腹部周辺に蓄積された脂肪は、心臓血管系疾患(CVD)の危険性増加と関係が深い。従って RT は、内臓脂肪を減らすことによって CVD の危険性低下を助ける可能性がある。

除脂肪体重

横断的研究では、ボディビルダー、パワーリフター、およびウェイトリフターのような RT プログラムに定期的に参加する選手の体脂肪は、平均値よりも低いことが示されている(145)。Fleck と Kraemer(41)は、体脂肪率の変化について検討した RT に関する 21 本の研究を要約した。これらの研究の継続期間は平均 11.5 週間で、体脂肪率の減少は平均 2.2%であった。これらの結果は、15~20 週間の有酸素性運動によって体脂肪率が約 2%減少した研究(165)よりも優れている。

除脂肪体重(Free fat mass: FFM)は、筋、骨、臓器、および結合組織などの、脂肪を含まない組織で構成されている。FFM の維持は、正常な骨格筋の機能、適切な骨量や安静時代謝率の維持に重要である。骨格筋の量は筋力(45)および $\dot{V}O_{2max}$ と関係があり、日常生活において身体活動を行う能力に寄与する(53,56)。また、筋の総量は安静時代謝率に関連する主要因子である(12,22)。中年期から、FFM は 10 年に約 3kg の割合で減少する(142)。横断的研究では、80 歳前後の高齢者と青年期の男女を比較した結果、FFM が 15~30%も異なることが報告されている。

RT が、若年者および中年男女の FFM を、維持、もしくは増加させる可能性があることが、



多くの研究結果によって示唆されている(9,14,35,68,113,160,164)。これらの研究では、8～20週間で、除脂肪体重がおよそ1.5～3.0kg増加したと報告されている。

FFMの維持に関して、高齢者はRTが特に重要な世代である。筋量の減少は、筋線維の数およびサイズの減少に起因している(51,92,96)。加齢によってタイプIとタイプII線維のサイズが減少するが、特にタイプII線維の減少が顕著である(51,92)。RTによって、タイプIおよびタイプII線維のサイズ(13,21,45)、横断面積(38,45)、そしてFFM(12)の増加が報告されている。筋量の維持は、有酸素性パワーおよび日常生活を営む能力と同様に、筋力のレベルにも影響を及ぼすと考えられる。

骨密度と骨粗鬆症

骨粗鬆症は、初老、特に閉経後の女性に影響を及ぼす骨ミネラル濃度(Bone mineral density: BMD)の急激な低下を伴う疾病である。BMDの低下は組織の弱化和骨折につながる。骨に加わる力学的負荷は、BMDの維持と増加に重要である。動物とヒトを対象とした研究では、新しい骨形成を刺激するために最低限必要なレベルで骨に負荷がかけられた場合、筋活動はBMDの維持に有効なことが示唆されている。レジスタンスエクササイズは高負荷で行われる運動様式のため、BMDの減少と骨粗鬆症の進行防止に、最も適していると思われる。

多くの研究から、RTが様々な世代の骨密度を増加させることが明らかになった(94)。また、筋力系アスリートはコントロール群より高い

BMDを有していることが示されている(19,78)。RTの縦断的研究では、成人(26,97,141)と高齢者(82,110,166)のBMDが増加したという報告があるが、変化は認められなかったという報告もある(14,64,70,106)。またほとんどの研究において、BMDの増加は実行されたエクササイズや動作に関与する四肢/関節に特異的なことが示唆されている(57,78)。例えば、大腿骨のBMDを増加させるためには、大腿骨上に起始あるいは停止がある筋に特に負荷をかけるレジスタンスエクササイズを含むことが必要である。RTは、トレーニングプログラムの初期段階において、骨吸収を抑制しながら骨形成を刺激する効果があるかもしれない(47)。利用可能な証拠に基づくと、おそらくRTはより全身的な効果があると考えられるが、持続的運動とRTの両方が、BMDの維持もしくは増加を助けるであろう。

■ 心理状態

不安神経症とうつ病は、QOLを著しく危険にさらす非常に一般的な精神疾患(生涯有病率20～30%)であり(83,131)、冠状動脈疾患、消化性潰瘍、喘息、頭痛、および関節リウマチのような、他の疾病の危険因子と考えられている(44)。反論(24)はあるものの、エクササイズが状態不安と特性不安(91)、およびうつ病(144)の軽減に関与しているということは全体的に合意されている。これらの合意に結びつくほとんどの研究は、不安神経症とうつ病に対する有酸素性運動の効果に着目しており、RTを行った研究は少ない。しかし先行研究で



は、RT が不安神経症とうつ病に対して同様の改善を導く可能性を示しており(118,137,157)、特に心臓病患者と高齢者においては、自己効力感と精神的健康を改善する可能性が示唆されている(33,105,122)。

■ 傷害の危険性

レジスタンスエクササイズは、適切に行われる限り、その他のほとんどの競技やレクリエーション活動と比べて、非常に安全で傷害発生率も低い(75,129)。マシンとフリーウェイトを用いた一般的な RT の傷害発生率は、100 時間当たり 0.0035 件であることが示されている(58)。主に高重量でレップ数の少ないパワーリフティングも、100 時間当たりの傷害発生率は 0.0027 件という非常に低い確率であることが報告されている(58)。これは、サッカー(100 時間当たり 6.20 件)、陸上競技(100 時間当たり 0.57 件)、アメリカンフットボール(100 時間当たり 0.10 件)、バスケットボール(100 時間当たり 0.03 件)、および体操(100 時間当たり 0.044 件)のような他の一般的な競技と比較しても低い。また、レジスタンスエクササイズは、重傷発生の危険性との相関はみられないことが示されている(58)。フリーウェイトを用いた爆発的動作が強調されるウェイトリフティングやそれに関連するエクササイズの傷害発生率は、100 時間当たり 0.0017 件であり、従来のレジスタンスエクササイズの傷害発生率(100 時間当たり 0.0035 件)よりも低いことが示されたことは注目に値する(58)。このことから、適切に監督された場合、フリーウェイトや爆発的エク

ササイズを、傷害発生の危険性が高いとして禁忌とする必要は全くない。

フリーウェイトや爆発的エクササイズは傷害の危険性が高いと信じる人たちによって、最大挙上重量(1RM)の試行は反対されている。しかし、これは実験的に実証されておらず、ほとんどの事例証拠で、1RM の試行による傷害発生は非常にまれであることが示唆されている。一方で、思春期前や高齢の対象者には、未成熟、あるいは筋骨格系を危険にさらすという理由から、1RM の試行は避けるのが賢明であるという見解はいまだ根強い。一般的に、レジスタンスエクササイズにおける傷害の危険性を最小限にするためには、以下のガイドラインに従うべきである。

(a)各エクササイズの前に適切なウォームアップを行う、(b)常に適切なテクニックで行う、(c)トレーニングはすべて、有資格者の監督の下で行うべきである、(d)補助者を適切に配置する、(e)疲労が見られたらレップ数を最小にする、(f)すべての機器を正常に使用できる状態にする、(g)トレーニング施設は、すべてのエクササイズ参加者のために広いスペースを確保する。

定期的に RT プログラムへ参加することで、他の競技や身体活動への参加時における傷害発生率、そして重傷の危険性を軽減することが示されている(25,52,62,88,95)。これはおそらく、靭帯、腱、および軟骨を含む筋骨格系の構成要素が強化されたことによると考えられる(93,143,153,154)。転倒による傷害の危険性が高い高齢者が、RT によって筋量、筋力、姿勢の安定性、および機能的な可動性を改善



できることが示されている(38,76)。これらの望ましい適応によって、高齢者が経験する転倒と傷害の発生数を減少させることが期待される(65,128)。

■ 機能的能力

階段を上る、重い物を持ち上げて運ぶといった身体活動を行うには、通常の日常生活機能が必要であろう。ウォーキングでさえある程度の筋力と持久力が必要となる。高齢者では、筋力と歩行速度との間に高い相関がある(38)。生涯を通じて筋力レベルを維持することは、機能的制約が広がることを防ぐ(10)。また筋力と筋横断面積は、血行動態計測あるいは最高有酸素性パワーよりも、心臓疾患患者の運動能力推定により適していることも明らかになっている(161)。衰えの見られる高齢者(111)や心臓発作患者(163)を対象とした最近の研究では、RTが筋力、椅子立ち上がり時間、バランス、および運動パフォーマンスの改善によって実証されるような、機能的能力の改善に有効であることが実証されている。

動的および静的な筋活動は、日常生活のほとんどの活動に関係しており、各タイプの筋活動はそれぞれ独自の生理学的反応を示す。RTによって、最大筋力とパワーのレベルは向上する。結果として、最大努力時の絶対的負荷の割合は低くなり、それにより、相対的なエクササイズ強度は低下する。

RTによる持久力の増加は、疲労困憊までのスクワット(108,148)、自転車エルゴメータおよびトレッドミルを用いた疲労困憊までの漸増負

荷運動(67,68,120,150)、相対的な一定パワー出力での自転車運動(67,103,108)のような身体活動によって観察されている。またRTによって、絶対的負荷時における血中乳酸濃度の低下(124)と、乳酸性作業閾値の向上(103)も報告されている。高齢者では(1)、脚筋力、歩行の持久力、および自発的活動の改善が、RTプログラムに参加する個人において観察された(1,32)。最近、Hagemanら(55)によって、RTを行っている高齢者のグループにおいてトレッドミル走のパフォーマンスおよび $\dot{V}O_{2max}$ の著しい増加が認められたと報告された。筋力の改善が、筋骨格系、心臓血管系、および代謝系に対して余裕をもたらし、需要を縮小させ、一般的な身体活動を比較的ストレスなく行えるようになることは明白である。

■ 実践的考察

RTによる適応は、トレーニングの特異性の原理と一致することは広く認識されている。つまり、パフォーマンスの最も大きな改善は、トレーニングで実行された動作様式に似た活動の中で観察される。この特異性は、トレーニング様式、動作パターン、筋収縮タイプ、速度、および関節角度において存在することが示されている(41を参照)。さらに健康に関連する適応も、プログラム変数の操作によって誘発された刺激に対する特有の変化に起因していると思われる。例えば、心臓血管系疾患の危険因子と関係する健康への効果は、トレーニング量と関係しているようである。ある効果が少量のトレーニングによってみられる可能性が



ある一方で、ほとんどの研究結果は、多量のトレーニングでより大きく改善することを示唆している。従って、心臓血管系疾患の危険因子の変化を望む場合は、大筋群を動員するエクササイズを中～多レップで複数セット行うべきである。心臓血管系の適応とは逆に、BMDの増加はトレーニング強度、および動作パターンと関係しているようである。BMDを増加させるためには、骨盤あるいは椎骨のような骨格の特定の部分を刺激する、比較的高負荷のエク

ササイズが必要と思われる。これには、スクワットのような軸骨格に負荷をかけるエクササイズが最も適している。健康に関連する変化の違いは、プログラム変数の特異性に関係していると認識することで、より効率的で有益なRTプログラムを計画できるであろう。さらに、一見矛盾した結果が得られた文献について、プロトコル変数の違いが説明の助けになる可能性がある。◆

■ References

1. Ades, P.A., D.L. Ballor, T. Ashikaga, J.L. Utton, and K.S. Nair. Weight training improves walking endurance in the elderly. *Ann. Int. Med.* 124(6): 568-572. 1996.
2. American College of Sports Medicine. Position stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30(6):975-991. 1998.
3. American College of Sports Medicine. Position stand: Exercise and physical activity for older adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30(6):992-1008. 1998.
4. Ballor, D.L., M.D. Beceque, C.R. Marks, K.L. Nau, and V.L. Katch. Physiological responses to nine different exercise:rest protocols. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21(1):90-95. 1989.
5. Benn, S.J., N. McCartney, and R.S. McKelvie. Circulatory responses to weight lifting, walking, and stair climbing in older males. *J. Am. Geriatr. Soc.* 44(2):121-125. 1996.
6. Berg, A.J., J. Keul, G. Ringwald, B. Deus, and K. Wybitul. Physical performance and serum cholesterol fractions in healthy young men. *Clin. Chim. Acta.* 106:325-330. 1980.
7. Berg, A.J., G. Ringwald, and J. Keul. Lipoprotein cholesterol in well-trained athletes: Preliminary communication; reduced



- HDL-cholesterol in power athletes. *Int. J. Sports Med.* 1:37-138. 1980.
8. Blessing, D., M.H. Stone, R. Byrd, G.D. Wilson, R. Rozenek, D. Pushparani, and H. Lipner. Blood lipid and hormonal changes from jogging and weight training of middle-aged men. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 1(2):25-29. 1987.
 9. Boileau, R.A., B.H. Massey, and J. E. Misner. Body composition changes in adult men during selected weight training and jogging programs. *Res. Quart.* 44:158-168. 1973.
 10. Brill, P.A., C.A. Macera, D.R. Davis, S.N. Blair, and N. Gordon. Muscular strength and physical function. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32(2):412-416. 2000.
 11. Burleson, M.A., H.S. O'Bryant, M.H. Stone, M.A. Collins, and T. Triplett-McBride. Effect of weight training exercise and treadmill exercise on post-exercise oxygen consumption. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30(4):518-522. 1998.
 12. Campbell, W.W., M.C. Crim, V.R. Young, and W.J. Evans. Increased energy requirements and changes in body composition with resistance training in older adults. *Am. J. Clin. Nutr.* 60(2):167-175. 1994.
 13. Charette, S.L, L. McEvoy, G. Pyka, C. Snow-Harter, D. Guido, R.A. Wiswell, and R. Marcus. Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. *J. Appl. Physiol.* 70(5):1912-1916. 1991.
 14. Chilibeck, P.D., A. Calder, D.G. Sale, and C.E. Webber. Twenty weeks of weight training increases lean tissue mass but not bone mineral mass or density in healthy, active young women. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 74(10): 1180-1185. 1996.
 15. Clarkson, P.M., R. Niwterminster, M. Fillyaw, and L. Stylos. High density lipoprotein cholesterol in young adult weightlifters, runners and untrained subjects. *Human Biol.* 5:251-257. 1981.
 16. Colliander, E.B., and P.A. Tesch. Blood pressure in resistance-trained athletes. *Can. J. Sport Sci.* 13(1):31-34. 1988.
 17. Collins, M.A., D. W. Hill, K. J. Cureton, and J.J. Demello. Plasma volume changes during heavy resistance weight lifting. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55:44-48. 1986.
 18. Collins, R., R. Peto, S. MacMahon, P. Herbert, N.H. Fiebach, K. A. Eberlein, J. Godwin, N. Qizilbash, J.O. Taylor, and C.H. Hennekens. Blood pressure, stroke and coronary heart disease. Part 2. Short-term



- reductions in blood pressure: Overview of randomised drug trials in their epidemiological context. *Lancet*. 335(8693):827-838. 1990.
19. Conroy, B.P., W.J. Kraemer, C.M. Maresh, S.J. Fleck, M.H. Stone, A.C. Fry, P.D. Miller, and G.P. Dalsky. Bone mineral density in elite junior Olympic weightlifters. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25(10):1103-1109. 1993.
 20. Copeland, S.R., M.C. Mills, J.L. Lerner, M.F. Crizer, C.W. Thompson, and J.M. Sullivan. Hemodynamic effects of aerobic vs resistance exercise. *J. Hum. Hypertens.* 10(11):747-753. 1996.
 21. Cress, M.E., D.P. Thomas, J. Johnson, F.W. Kasch, R.G. Cassens, E.L. Smith, and J.C. Agre. Effect of training on $\dot{V}O_2$ max, thigh strength, and muscle morphology in septagenarian women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23(6):752-758. 1991.
 22. Cunningham, J.J. Body composition as a determinant of energy expenditure: A synthetic review and a proposed general prediction equation. *Am. J. Clin. Nutr.* 54:963-969. 1991.
 23. Cuppers, H.J., D. Erdman, H. Schubert, P. Berchtold, and M. Berger. Glucose tolerance, serum lipids in athletes. In: *Diabetes and Exercise*. Berger et al., ed. Bern, Switzerland: Han Huber, 1982.
 24. Dishman, R.K. Physical activity and public health: Mental health. *Quest*. 47(3): 362-385. 1995.
 25. Dominquez, R.H. Shoulder pain in age group swimmers. In: *Swimming Medicine IV*. B. Ericksson and B. Furong, eds. Baltimore: University Park Press, 1978. pp. 105-109.
 26. Dornemann, T., R.G. Mc-Murray, J.B. Renner, and J.J. Anderson. Effects of high-intensity resistance exercise on bone mineral density and muscle strength of 40–50-year-old women. *J. Sports Med. Phys. Fitness*. 37(4):246-251. 1997.
 27. Dudley, G.A., and R. Djamil. Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *J. Appl. Physiol.* 59(5):1446-1451. 1985.
 28. Durstine, J.L., and W.L. Haskell. Effects of exercise training on plasma lipids and lipoproteins. *Exerc. Sci. Sports Rev.* 22:477-521. 1994.
 29. Eriksson, J., S. Taimela, K. Eriksson, S. Parviainen, J. Peltonen, and U. Kujala. Resistance training in the treatment of non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Int. J. Sports Med.* 18(4):242-246. 1997.



30. Eriksson, J., J. Tuominen, T. Valle, S. Sundberg, A. Sovijarvi, H. Lindholm, J. Tuomilehto, and V. Koivisto. Aerobic endurance exercise or circuit-type resistance training for individuals with impaired glucose tolerance? *Horm. Metab. Res.* 30(1):37-41. 1998.
31. Essen-Gustavsson, B., and P.A. Tesch. Glycogen and triglyceride utilization in relation to muscle metabolic characteristics in men performing heavy-resistance exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 61:5-10. 1990.
32. Evans, W.J. Effects of exercise on body composition and functional capacity of the elderly. *J. Gerontol. Biol. Sci. Med. Sci.* 50:147-150. 1995.
33. Ewert, C.K. Psychological effects of resistive weight training: Implications for cardiac patients. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21(6):683-688. 1989.
34. Fahey, T., L. Akka, and R. Rolph. Body composition and $\dot{V}O_2$ max of exceptionally weight-trained athletes. *J. Appl. Physiol.* 39:559-561. 1975.
35. Fahey, T.D., and C.H. Brown. The effects of an anaerobic steroid on the strength, body composition and endurance of college males when accompanied by a weight training program. *Med. Sci. Sports.* 5:272-276. 1973.
36. Faigenbaum, A.D., G.S. Skrinar, W.F. Cesare, W.J. Kraemer, and H.E. Thomas. Physiologic and symptomatic responses of cardiac patients to resistance exercise. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 71(6): 395-398. 1990.
37. Farrell, P.A., M.G. Maksud, M.L. Pollock, C. Foster, J. Anholm, J. Hare, and A.S. Leon. A comparison of plasma cholesterol, triglycerides and high density lipoprotein-cholesterol in speed skaters, weightlifters and non-athletes. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 48:77-82. 1982.
38. Fiatarone, M.A., E.C. Marks, N.D. Ryan, C.N. Meredith, L.A. Lipsitz, and W.J. Evans. High-intensity strength training in nonagenarians. Effects on skeletal muscle. *JAMA.* 263(22):3029-3034. 1990.
39. Fixler, E.D., and W.P. Laird. Acute haemodynamic responses of hypertensive adolescents to strenuous weightlifting (abstract). *Med. Sci. Sports Exerc.* 11:78. 1979.
40. Fleck, S.J., and L.S. Dean. Resistance-training experience and the pressor response during resistance exercise. *J. Appl. Physiol.* 63(1): 116-120. 1987.
41. Fleck, S.J., and W.J. Kraemer. *Designing Resistance Training*



- Programs*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1987.
42. Flegg, J.L., and E.G. Lakatta. Role of muscle loss in the age-associated reduction in $\dot{V}O_2\text{max}$. *J. Appl. Physiol.* 65: 1147-1151. 1988.
 43. Fletcher, G.F., G. Balady, V.F. Froelicher, L.H. Hartley, W.L. Haskell, and M.L. Pollock, Exercise standards: A statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation.* 91:580-615. 1995.
 44. Friedman, H.S., and S. Booth-Kewley. The disease-prone personality: A meta-analytic view of the construct. *Amer. Psychol.* 42: 539-555. 1987.
 45. Frontera, W.R., C.N. Meredith, K.P. O'Reilly, H.G. Knuttgen, and W.J. Evans. Strength conditioning in older men: Skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J. Appl. Physiol.* 64:1038-1044. 1988.
 46. Frontera, W.R., C.N. Meredith, K.P. O'Reilly, and W.J. Evans. Strength training and determinants of $\dot{V}O_2\text{max}$ in older men. *J. Appl. Physiol.* 68:329-333. 1990.
 47. Fujimura, R., N. Ashizawa, M. Watanabe, N. Mukai, H. Amagai, T. Fukubayashi, K. Hayashi, K. Tokuyama, and M. Suzuki. Effect of resistance exercise training on bone formation and resorption in young male subjects assessed by biomarkers of bone formation. *J. Bone Miner. Res.* 12(4): 656-662. 1997.
 48. Going, S.B., D.P. Williams, T.G. Lohman, and M.J. Hewitt. Aging body composition and physical activity: A review. *J. Aging Phys. Activity.* 3:38-66. 1994.
 49. Goldberg, L.E., R. Schutz, and F. Kloster. Improvement in cardiovascular response to exercise after weight training (abstract). *Clin. Res.* 31:9A. 1983.
 50. Goldberg, L., D. L. Elliot, and K. S. Kuehl. Cardiovascular changes at rest and during mixed static and dynamic exercise after weight training. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 2(3):42-45. 1988.
 51. Grimby, G., B. Banneskold-Samsoe, K. Hvid, and B. Saltin. Morphology and enzymatic capacity in arm and leg muscles in 78–81 year-old men and women. *Acta Physiol. Scand.* 115:125-134. 1982.
 52. Gruchow, W., and P. Pelleiter. An epidemiologic study of tennis elbow. *Am. J. Sports Med.* 7:234-238. 1979.
 53. Haennel, R.G., H.A. Quinney, and C.T. Kappagoda. Effects of hydraulic circuit training following coronary



- artery bypass surgery. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23(2):158-165. 1991.
54. Hagberg, J.M., A.A. Ehsoni, and D. Goldring, et al. Effect of weight training on blood pressure and haemodynamics in hypertensive adolescents. *J. Pediatr.* 104:147-151. 1984.
55. Hagerman, F.C., S.J. Walsh, R.S. Staron, R.S. Hikida, R.M. Gilders, T.F. Murray, K. Toma, and K.E. Ragg. Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. I. Strength, cardiovascular, and metabolic responses. *J. Gerontol. Biol. Sci. Med. Sci.* 55(7): B336-B46. 2000.
56. Halbert, J.A., C.A. Silagy, P. Finucane, R.T. Withers, P.A. Hamdorf, and G.R. Andrews. The effectiveness of exercise training in lowering blood pressure: A meta-analysis of randomized controlled trials of 4 weeks or longer. *J. Hum. Hypertens.* 11(10):641-649. 1997.
57. Hamdy, R., J. Anderson, K. Whalen, and L. Harvill. Regional differences in bone density of young men involved in different exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26:884-888. 1994.
58. Hamill, B.P. Relative safety of weightlifting and weight training. *J. Strength Con. Res.* 8(1): 53-57. 1994.
59. Hammond, H.K., and V.F. Froelicher. Normal and abnormal heart rate responses to exercise. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 27(4):271-296. 1985.
60. Hammond, H.K., and V.F. Froelicher. The physiologic sequelae of chronic dynamic exercise. *Med. Clin. North Am.* 69(1):21-39. 1985.
61. Harris, K.A., and R.G. Holly. Physiological responses to circuit weight training in borderline hypertensive subjects. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19: 246-252. 1987.
62. Hawkins, R.J., and J.C. Kennedy. Impingement syndrome in athletes. *Am. J. Sports Med.* 8:151-158. 1980.
63. Hayashi, T., J.F. Wojtaszewski, and L.J. Goodyear. Exercise regulation of glucose transport in skeletal muscle. *Am. J. Physiol.* 276(6): E1039-E1051. 1997.
64. Heinonen, A., H. Sievanen, P. Kannus, P. Oja, and I. Vuori. Effects of unilateral strength training and detraining on bone mineral mass and estimated mechanical characteristics of the upper limb bones in young women. *J. Bone Miner. Res.* 11(4):490-501. 1996.
65. Henderson, N.K., C.P. White, and J.A. Eisman. The roles of exercise and fall risk reduction in the prevention of



- osteoporosis. *Endocrinol. Metab. Clin. North Am.* 27(2):369-387. 1998.
66. Hickson, R.C. Interference of strength development by simultaneous training for strength and endurance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 45(2):255-263. 1980.
67. Hickson, R.C., B.A. Dvorak, E.M. Gorostiaga, T.T. Kurowski, and C. Foster. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J. Appl. Physiol.* 65:2285-2290. 1988.
68. Hickson, R.C., M.A. Rosenkoetter, and M.M. Brown. Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12: 336-339. 1980.
69. Honkola, A., T. Forsen, and J. Eriksson. Resistance training improves the metabolic profile in individuals with type 2 diabetes. *Acta Diabetol.* 34(4): 245-248. 1997.
70. Humphries, B., R.U. Newton, R. Bronks, S. Marshall, J. McBride, T. Triplett-McBride, K. Hakkinen, W.J. Kraemer, and N. Humphries. Effect of exercise intensity on bone density, strength, and calcium turnover in older women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32(6):1043-1050. 2000.
71. Hunter, G., L. Blackman, L. Dunham, and G. Flemming. Bench press metabolic rate as a function of exercise intensity. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 2(1):1-6. 1988.
72. Hurley, B.B., D.R. Seals, J.M. Hagberg, A.C. Goldberg, S.M. Ostrove, J.O. Holloszy, W.G. Wiest, and A.P. Goldberg. High density lipoprotein cholesterol in bodybuilders vs. powerlifters (negative effects of androgen use). *JAMA.* 252:507-513. 1984.
73. Hurley, B.F. Effects of resistive training on lipoprotein-lipid profiles: A comparison to aerobic exercise training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21(6):689-693. 1989.
74. Hurley, B.F., J.M. Hagberg, A.P. Goldberg, D.R. Seals, A.A. Ehsani, R.E. Brennan, and J.O. Holloszy. Resistive training can reduce coronary risk factors without altering $\dot{V}O_{2max}$ or percent body fat. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20(2): 150-154. 1988.
75. Jones, C.S., C. Christensen, and M. Young. Weight training injury trends. A 20 year survey. *Phys. Sportsmed.* 28(7): 61-72. 2000.
76. Judge, J.O., C. Lindsey, M. Underwood, and D. Winsemius. Balance improvements in older women: Effects of exercise training. *Phys. Ther.* 73(4):254-262. 1993.

77. Kanakis, C., and R.C. Hickson. Left ventricle responses to a program of lower limb strength training. *Chest*. 78:618-621. 1980.
78. Karlsson, M., M.K.O. Johnell, and K.J. Obrant. Bone mineral density in weight lifters. *Calcif. Tissue Int.* 52:212-215. 1993.
79. Katch, F.I., C. Jones, and P.F. Freedson. Evaluation of acute cardiorespiratory responses to hydraulic resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17:168-173. 1985.
80. Kelley, G. Dynamic resistance exercise and resting blood pressure in adults: A meta-analysis. *J. Appl. Physiol.* 82(5):1559-1565. 1997.
81. Kelley, G.A., and K.S. Kelley. Progressive resistance exercise and resting blood pressure: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Hypertension* 35(3):838-843. 2000.
82. Kerr, D., A. Morton, I. Dick, and R. Prince. Exercise effects on bone mass in postmenopausal women are site-specific and load-dependent. *J. Bone Miner. Res.* 11(2): 218-225. 1996.
83. Kessler, R.C., K.A. McGonagle, S. Zhao, C.B. Nelson, M. Hughes, S. Eshleman, H. Wittchen, and K.S. Kendler. Lifetime and 12 month prevalence of DSM-III-R psychiatric disorders in the United States. *Arch. Gen. Psych.* 51:8-19. 1994.
84. Keul, J., G. Haralambie, M. Bruder, and H.J. Gottstein. The effect of weightlifting exercise on heart rate and metabolism in experienced weight lifters. *Med. Sci. Sports Exerc.* 10:13-15. 1978.
85. Kliener, D.M., D.L. Blessing, W.R. Davis, and J.W. Mitchell. Acute cardiovascular responses to various forms of resistance exercise. *J. Strength Cond. Res.* 10:56-61. 1996.
86. Knowlton, R.G., R.K. Hetzler, L.A. Kaminsky, and J.J. Morrison. Plasma volume changes and cardiovascular responses associated with weight lifting. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19(5): 464-468. 1987.
87. Kozlowski, S., Z. Brzezinska, K. Nazar, W. Kowalski, and M. Franczyk. Plasma catecholamines during sustained isometric exercise. *Clin. Sci. Mol. Med.* 45:723-731. 1973.
88. Kuland, D.N., F.C. McCue, Rockwell, and J.A. Gieck. Tennis injuries: Prevention and treatment. *Am. J. Sports Med.* 7:249-253. 1979.
89. Kusnitz, I., and C.W. Keeny. Effects of progressive weight training on health and physical fitness of



- adolescent boys. *Res. Q.* 29:294-301. 1958.
90. Laird, W.P., D.E. Fixler, and C.D. Swanbom. Cardiovascular effects of weight training in hypertensive adolescents. Abstract. *Med. Sci. Sports.* 11:78. 1979.
91. Landers, D.M., and S.J. Petruzzello. Physical activity, fitness, and anxiety. In: *Physical Activity, Fitness, and Health: International Proceedings and Consensus Statement.* C. Bouchard, R.J. Shephard, and T. Stephens, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 1994. pp. 868-882.
92. Larson, L. Physical training effects on muscle morphology in sedentary males at different ages. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14:203-206. 1982.
93. Laurent, G.J., M.P. Sparrow, P.C. Bates, and D.J. Millward. Collagen content and turnover in cardiac and skeletal muscles of the adult fowl and the changes during stretch-induced growth. *Biochem. J.* 176:419-427. 1978.
94. Layne, J., and M.E. Nelson. The effects of progressive resistance training on bone density: A review. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31(1):25-30. 1999.
95. Lehnhard, R.A., H.R. Lehnhard, R. Young, and S.A. Butterfield. Monitoring injuries on a college soccer team: The effect of strength training. *J. Strength Cond. Res.* 10(2):115-119. 1996.
96. Lexell, J., K. Henriksson-Larson, B. Winblad, and M. Sjostrom. Distribution of different fiber types in human muscles: Effects of aging studied in whole muscle cross sections. *Muscle Nerve.* 6:588-595. 1983.
97. Lohman, T., S. Going, R. Parnenter, M. Hall, T. Boyden, L. Houtkooper, C. Ritenbaugh, L. Bare, A. Hill, and M. Aickin. Effects of resistance training on regional and total bone mineral density in premenopausal women: A randomized prospective study. *J. Bone Miner. Res.* 10(7):1015-1024. 1995.
98. MacDougall, J.D., G.R. Ward, D.G. Sale, and J.R. Sutton. Biochemical adaptations of human skeletal muscle to heavy resistive training and immobilization. *J. Appl. Physiol.* 43:700-703. 1977.
99. MacDougall, J.D., D. Tuxen, D.G. Sale, J.R. Moroz, and J.R. Sutton. Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *J. Appl. Physiol.* 58:785-790. 1985.
100. MacMahon, S., R. Peto, J. Cutler, R. Collins, P. Sorlie, J. Neaton, R. Abbot,



- J. Godwin, A. Dyer, and J. Stamler. Blood pressure, stroke and coronary heart disease. Part 1. Prolonged differences in blood pressure: Prospective observational studies corrected for the regression dilution bias. *Lancet*. 335 (8692):765-764. 1990.
101. Maiorana, A.J., T.G. Briffa, C. Goodman, and J. Hung. A controlled trial of circuit weight training on aerobic capacity and myocardial oxygen demand in men after coronary artery bypass surgery. *J. Cardiopulm. Rehabil.* 17(4):239-247. 1997.
102. Mary, D.A.S.G. Exercise training and its effect on the heart. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.* 109:62-144. 1987.
103. Marcinik, E.J., J. Potts, G. Schlabach, S. Will, P. Dawson, and B.F. Hurley. Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23:739-743. 1991.
104. Margolis, S., and M.J. Klag. Hypertension. *Arch. Int. Med.* 155(7):4-44. 1995.
105. McCartney, N. Role of resistance training in heart disease. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30(Suppl. 10):396-402. 1998.
106. McCartney, N., A.L. Hicks, J. Martin, and C.E. Webber. Long-term resistance training in the elderly: Effects on dynamic strength, exercise capacity, muscle, and bone. *J. Gerontol. Biol. Sci. Med. Sci.* 50(2):B97-B104. 1995.
107. McCartney, N., R.S. McKelvie, J. Martin, D.G. Sale, and J.D. McDougall. Weight training induced attenuation of the circulatory response to weightlifting in older males. *J. Appl. Physiol.* 74:1056-1060. 1993.
108. McGee, D.S., T.C. Jesse, M.H. Stone, and D. Blessing. Leg and hip endurance adaptations to three different weight training programs. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 6(2): 92-95. 1992.
109. McMillan, J., M.H. Stone, J. Sartin, R. Keith, D. Marple, C. Brown, and R.D. Lewis. The 20hour physiological responses to a single weight-training session. *J. Strength Cond. Res.* 7(1):9-21. 1993.
110. Menkes, A., S. Mazel, R.A. Redmond, K. Koffler, C.R. Libanati, C.M. Gundberg, T.M. Zizic, J.M. Hagberg, R.E. Pratley, and B.F. Hurley. Strength training increases regional bone mineral density and bone remodeling in middle-aged and older



- men. *J. Appl. Physiol.* 75(5): 2478–2484. 1993.
111. Meuleman, J.R., W.F. Brechue, P.S. Kubulis, and D.T. Lowenthal. Exercise training in the debilitated aged: Strength and functional outcomes. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 81(3):3112–318. 2000.
112. Miller, W.J., W.M. Sherman, and J.L. Ivy. Effect of strength training on glucose tolerance and post-glucose insulin responses. *Med. Sci. Sports Exerc.* 16:538–543. 1984.
113. Misner, J.E., R.A. Boileau, B.H. Massey, and J.L. May-hew. Alterations in body composition of adult men during selected physical training programs. *J. Am. Geriatr. Soc.* 22:33–38. 1974.
114. Morgan, W.P. Physical activity, fitness, and depression. In: *Physical Activity, Fitness, and Health: International Proceedings and Consensus Statement*. C. Bouchard, R.J. Shephard, and T. Stephens, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 1994. pp. 852–867.
115. Morganroth, J.B., J. Maron, W.L. Henry, and S.E. Epstein. Comparative left ventricular dimensions in trained athletes. *Ann. Intern. Med.* 82:521–524. 1975.
116. Nagle, F., and I. Irwin. Effects of two systems of weight training on circulorespiratory endurance and related physiological factors. *Res. Q.* 31:607–615. 1960.
117. Narloch, J.A., and M.E. Brandstater. Influence of breathing technique on arterial blood pressure during heavy lifting exercise. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 76:457–461. 1995.
118. Norvell, N., and B. Belles. Psychological and physical benefits of circuit weight training in law enforcement personnel. *J. Consul. Clin. Psychol.* 61(3):520–527. 1993.
119. Nutter, D.O., R.C. Schlout, and J.W. Hurst. Isometric exercise and the cardiovascular system. *Mod. Concerns Cardiovasc. Dis.* 41:11–15. 1972.
120. O'Bryant, H.S., R. Byrd, and M.H. Stone. Cycle performance and maximum leg and hip strength adaptations to two different methods of weight training. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 2(2):27–30. 1988.
121. Parker, N.D., G.R. Hunter, M.S. Treuth, T. Kekes-Szabo, S.H. Kell, R. Weinsier, and M. White. Effects of strength training on cardiovascular responses during a submaximal walk and a weight-loaded walking test in older females. *J. Cardiopulm. Rehabil.* 16(1):56–62. 1996.



122. Perrig-Chiello, P., W.J. Perrig, R. Ehrsam, H.B. Staehelin, and F. Krings. The effects of resistance training on well-being and memory in elderly volunteers. *Age Ageing* 27(4):469–475. 1998.
123. Petersen, S.R., R.G. Haennel, C.T. Kappagoda, A.N. Belcastro, D.C. Reid, H.A. Wenger, and H.A. Quinney. The influence of high velocity circuit resistance training on $\dot{V}O_2$ max and cardiac output. *Can. J. Sport Sci.* 14:158–163. 1989.
124. Pierce, K., R. Rozenek, and M.H. Stone. Effects of high volume weight training on lactate, heart rate, and perceived exertion. *J. Strength Cond. Res.* 7(4):211–215. 1993.
125. Poehlman, E.T., M.J. Toth, and T. Fonong. Exercise substrate utilization and energy requirements in the elderly. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 19(Suppl. 4):93–96. 1995.
126. Pollock, M.L., B.A. Franklin, G.J. Balady, B.L. Chaitman, Fleg, B. Fletcher, M. Limacher, I.L. Pina, R.A. Stein, Williams, and T. Bazzarre. 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. *Circulation.* 101:828–833. 2000.
127. Pratley, R., B. Nicklas, B. Rubin, J. Miller, A. Smith, M. Smith, B. Hurley, and A. Goldberg. Strength training increases resting metabolic rate and norepinephrine levels in healthy 50- to 65 yr-old men. *J. Appl. Physiol.* 76:133–137. 1994.
128. Province, M.A., E.C. Hadley, M.C. Hornbrook, L.A. Lipsitz, J.P. Miller, C.D. Mulrow, M.G. Ory, R.W. Sattin, M.E. Tinetti, and S.L. Wolf. The effects of exercise on falls in elderly patients. A pre-planned meta-analysis of the FICSIT trials. Frailty and injuries: Cooperative studies of intervention techniques. *JAMA.* 273(17):1341–1347. 1995.
129. Reeves, R.K., E.R. Laskowski, and J. Smith. Weight training injuries. Part I. Diagnosing and managing acute conditions. *Phys. Sportsmed.* 26(2):67–83. 1998.
130. Ricci, G., D. Lajoie, R. Pettitclerk, F. Peronnet, R.J. Ferguson, M. Fournier, and A.W. Taylor. Left ventricular size following endurance, sprint, and strength training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14(5):344–347. 1982.
131. Robins, E., J.E. Helzer, M.M.



- Weissman, H. Orvaschel, E. Gruenberg, J.D. Burke, Jr., and D.A. Reiger. Lifetime prevalence of specific psychiatric disorders in three sites. *Arch. Gen. Psych.* 41:949–958. 1984.
132. Rozenek, R., L. Rosenau, P. Rosenau, and M.H. Stone. The effect of intensity on heart rate and blood lactate response to resistance exercise. *J. Strength Cond. Res.* 7:51–54. 1993.
133. Sale, D.G., D.E. Moroz, R.S. McKelvie, J.D. McDougall, and N. McCartney. Effect of training on the blood pressure response to weight lifting. *Can. J. Appl. Physiol.* 19:60–74. 1994.
134. Saltin, B., and P.O. Astrand. Maximal oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* 23:353–358. 1967.
135. Scala, D., J. McMillan, D. Blessing, R. Rozenek, and M.H. Stone. Metabolic cost of a preparatory phase of training in weightlifting: A practical observation. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 1(3):48–52. 1987.
136. Siegel, W.C., and J.A. Blumenthal. The role of exercise in the prevention and treatment of hypertension. *Ann. Behav. Med.* 13(1):23–30. 1991.
137. Singh, N.A., K.M. Clements, and M.A. Fiatarone. A randomized controlled trial of progressive resistance training in depressed elders. *J. Gerontol. Bio. Sci. Med. Sci.* 52(1):M27–M35. 1997.
138. Sinyakov, A.F., and S.V. Stepanova. Alterations in the blood pressure of weight-lifters. In: *1984 Weightlifting Yearbook* (translated by Andrew Charniga). Lelikov et al., eds. Moscow: Fizkultura i Sport Publishers, 1984.
139. Smutok, M.A., C. Reece, P.F. Kokkinos, C.M. Farmer, P.K. Dawson, J. DeVane, J. Patterson, A.P. Goldberg, and B.F. Hurley. Effects of exercise training modality on glucose tolerance in men with abnormal glucose regulation. *Int. J. Sports Med.* 15(6): 283–289. 1994.
140. Smutok, M.A., C. Reece, P.F. Kokkinos, C. Farmer, P. Dawson, R. Shulman, J. De-Vane-Bell, J. Patterson, C. Charabogos, and A.P. Goldberg. Aerobic versus strength training for risk factor intervention in middle-aged men at high risk for coronary heart disease. *Metabolism* 42(2):177–184. 1993.
141. Snow-Harter, C., M.L. Bouxsein, B.T. Lewis, D.R. Carter, and R. Marcus. Effects of resistance and endurance exercise on bone mineral status of young women: A randomized exercise



- intervention trial. *J. Bone Miner. Res.* 7(7):761–769. 1992.
142. Spirduso, W. *Physical Dimensions of Aging*. Champaign: Human Kinetics. 1995.
143. Staff, P.H. The effect of physical activity on joints, cartilage, tendons and ligaments. *Scan. J. Social Med.* 29(Suppl.): 59–63. 1982.
144. Stone, M.H., D.L. Blessing, R. Byrd, D. Boatwright, J. Tew, L. Johnson, and A. Lopez-S. Physiological effects of a short-term resistive training program on middle-age sedentary men. *Nat. Strength Cond. Assoc. J.* 4(5): 16–20. 1982.
145. Stone, M.H., S.J. Fleck, N.T. Triplett, and W.J. Kraemer. Health- and performance-related potential of resistance training. *Sports Med.* 11(4): 210–231. 1991.
146. Stone, M.H., J.R. Nelson, S. Nader, and D. Carter. Short-term weight training effects on resting and recovery heart rates. *Athletic Training.* 18:69–71. 1983.
147. Stone, M.H., and H. O'Bryant. *Weight Training: A Scientific Approach*. Burgess International, Minneapolis, MN, 1987.
148. Stone, M.H., K. Pierce, R. Godsen, G.D. Wilson, D. Blessing, R. Rozenek, J. Chromiak. Heart rate and lactate levels during weight-training exercises in trained and untrained men. *Phys. Sportsmed.* 15(5):97–105, 1987.
149. Stone, M.H., D. Smith, T. Ward, and D. Carter. Olympic weightlifting: Physiological characteristics of the athletes. In: *Science in Weightlifting*. Terauds, ed. Del Mar, CA: Academic, 1979. pp. 54–67.
150. Stone, M.H., G.D. Wilson, D. Blessing, and R. Rozenek. Cardiovascular responses to short-term Olympic style weight training in young men. *Can. J. Appl. Sports Sci.* 8:134–139. 1983.
151. Svedahl, K., R.G. Haennel, R. Hudec, N. Habib, and V. Gebhart. The effects of circuit training on the physical fitness of post-myocardial infarction (MI) patients. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26(Suppl. 1):185. 1994.
152. Tatro, D.L., G.A. Dudley, and V.A. Convertino. Carotid-cardiac baroreflex response and LBNP tolerance following resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24(7):789–796. 1992.
153. Tipton, C.M., S.L. James, W. Mergner, and T.K. Tchern. Influence of exercise on the strength of the medial collateral knee ligament of dogs. *Am. J. Physiol.* 218:894–902.

- 1970.
154. Tipton, C.M., R.D. Matthes, J.A. Maynard, and R.A. Carey. The influence of physical activity on ligaments and tendons. *Med. Sci. Sports*. 7:34–41. 1975.
155. Treuth, M.S., G. R. Hunter, T. Kekes-Szabo, R.L. Weinsier, M.I. Goran, and L. Berland. Reduction in intra-abdominal adipose tissue after strength training in older women. *J. Appl. Physiol.* 78(4):1425–1431. 1995.
156. Triplett, N.T., M.H. Stone, C. Adams, K.D. Allvan, and T.W. Smith. Effects of aspartic acid salts on fatigue parameters during weight training exercise and recovery. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 4(4): 141–147. 1990.
157. Tsutsumi, T., B.M. Don, L.D. Zaichkowsky, and L.L. Delizonna. Physical fitness and psychological benefits of strength training in community dwelling older adults. *Appl. Human Sci.* 16(6):257–266. 1997.
158. U.S. Department of Health and Human Services. *Physical Activity and Health, A Report of the Surgeon General*. Atlanta, GA: U.S. Dept. of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, 1996.
159. Van Etten, L.M., K.R. Westerterp, and F.T. Verstappen. Effect of weight-training on energy expenditure and substrate utilization during sleep. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27(2):188–193. 1995.
160. Van Etten, L.M., K.R. Westerterp, F.T. Verstappen, B.J. Boon, and W.H. Saris. Effect of an 18-wk weight-training program on energy expenditure and physical activity. *J. Appl. Physiol.* 82(1):29–304. 1997.
161. Volteranni, M., A.L. Clark, P.F. Ludman, J.W. Swan, S. Adamopoulos, S. Piepoli, and A.J. Coats. Predictors of exercise capacity in chronic heart failure. *Eur. Heart J.* 15(6):801–809. 1994.
162. Wallace, M.B., R.J. Moffatt, E.M. Haymes, and N.R. Green. Acute effects of resistance exercise on parameters of lipoprotein metabolism. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23(2):199–204. 1991.
163. Weiss, A., T. Suzuki, J. Bean, and R.A. Fielding. High intensity strength training improves strength and functional performance after stroke. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 79:369–376. 2000.
164. Wilmore, J.H. Alterations in strength,



- body composition, and anthropometric measures consequent to a 10-week weight training program. *Med. Sci. Sports.* 6:133–138. 1974.
165. Wilmore, J.H. Body composition in sport and exercise: Directions for future research. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15(1):21–31. 1983.
166. Yarasheski, K.E., J.A. Campbell, and W.M. Kohrt. Effect of resistance exercise and growth hormone on bone density in older men. *Clin. Endocrinol. (Oxf.)*. 47(2):223–229. 1997.
167. Yeater, R., C. Reed, I. Ullrich, A. Morise, and M. Borsch. Resistance trained athletes using or not using anabolic steroids compared to runners: Effects on cardiorespiratory variables, body composition, and plasma lipids. *Br. J. Sports Med.* 30(1): 11–14. 1996.
168. Yki-Jarvinen, H., V.A. Koivisto, and M-R Taskinen, et al. Glucose tolerance, plasma lipoproteins and tissue lipoprotein lipase activities in bodybuilders. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 53:253–259. 1984.

著者紹介

Michael S. Conley, MD, PhD, CSCS,

インディアナ州インディアナポリスにある Indiana University Medical Center の放射線科に所属している研修医。Indiana University School of Medicine で MD を、University of Georgia で Exercise Physiology の PhD を取得している。

Ralph Rozenek, PhD,

California State University, Long Beach 体育学部身体運動科の教授。レジスタンストレーニングの効果についての研究に 15 年間携わっている。

From *Strength and Conditioning Journal*

Volume 23, Number 6; pages 9–23