

筋有酸素能の向上を目指した 高齢者の筋力づくり運動

筑波大学大学院 江崎 和希
(共同研究者) 鹿屋体育大学 浜岡 隆文
筑波大学大学院 衣笠 隆
同 武政 徹

Effect of Resistance Exercise on Muscle Oxidative Capacity for the Elderly

by

Kazuki Esaki, Takashi Kinugasa, Tohru Takemasa
*Institute of Health and Sport Sciences,
University of Tsukuba
Takafumi Hamaoka
Department of Sports Performance,
National Institute of Fitness and Sports in Kanoya*

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine the effect of 12-week combined resistance (2 day/wk) and aerobic (once weekly) exercise training on muscle oxidation capacity for the elderly.

Twenty-two healthy female subjects (67 ± 5 yr), 11 combined exercise training elderly (RT group: 66 ± 5 yr), 11 control (aerobic exercise alone, once weekly) elderly (CON group: 68 ± 5 yr) women participated in this study.

We evaluated the muscle peak isokinetic power. We evaluated the half-recovery time of muscle re-oxygenation ($RT_{1/2}$) using near-infrared spectrometer (NIRS) in the medial gastrocnemius during the recovery phase after treadmill walking test (2.4km/h, 12%,

5min) .

RT group participated in resistance exercise training of 3-sessions of 3-sets of 10-15 repetitions of isokinetic machines exercise. The RT1/2 tended to be lowered in RT group after training, but the CON group did not.

This study suggested that muscle oxidative capacity could be improved by 12-week combined exercise training for the elderly.

要 旨

本研究は、女性高齢者を対象とし、筋力づくり運動の介入が筋力および局所骨格筋の有酸素能に及ぼす影響について検討した。トレーニング内容は、週一回の有酸素トレーニングと週二回の油圧式マシーントレーニングを12週間実施した。また、対照として週一回の有酸素トレーニングのみのグループとした。前後の検査は、体重、体脂肪率、血圧、トレッドミル歩行後の酸素化ヘモグロビンの回復時間 (RT) の検査、下肢筋力測定、平均歩数である。また、筋力測定は、膝関節伸展・屈曲運動、足関節背屈・底屈運動時のピークトルク (PT) を測定した。その結果、複合運動群のみ、体重、体脂肪率の減少、RTの短縮、PTの増加、平均歩数の増加がみられた。以上の結果、女性高齢者において週一回の有酸素トレーニングに週二回の筋力づくり運動を加えると下肢筋力の増加および平均歩数の増加と共に、歩行時の筋有酸素能が改善する可能性が示唆された。

緒 言

従来、高齢者の健康増進に対しては、有酸素運動が主に推奨されてきたが、近年、高齢者のQOLの維持向上のためには、筋力の維持も重要であることが分かってきた。しかし、一般の高齢者が筋力づくり運動を行うには若年者に比べ心疾患系のリスクが高いため、運動プログラム作成には安全面を十分に考慮しなければならない。最近

の報告によると、高齢者の筋力づくり運動が、加齢に伴う筋力・筋量の低下を防ぎ、さらにそれらを増加させる可能性が示唆されている^{2,10,14}。さらに、有酸素運動と筋力づくり運動を組み合わせた複合運動トレーニングの効果もいくつか報告されてきている^{6,15}。しかしながら、その効果は主として全身持久力や筋力の面のみから評価されてきた。一方、これまで高齢者の局所骨格筋の酸素動態の評価は困難であったため、筋力づくり運動による筋の有酸素能に及ぼす影響については十分なエビデンスを得られていない¹¹。高齢者の筋力づくり運動が筋の有酸素能に及ぼす影響について検討することは高齢者の運動プログラム作成において重要な情報になると考えられる。そこで本研究では、女性高齢者を対象とし、筋力づくり運動の介入が筋力および局所骨格筋の有酸素能に及ぼす影響について検討した。特に、腓腹筋をモデルとして「高齢者の複合運動による筋力の増加は、局所骨格筋の有酸素能の向上にも貢献する」との仮説を立て、その検証を目的とした。

1. 研究方法

1. 1 被験者

被験者は、健常女性高齢者22名である。被験者は、複合運動群として週一回の有酸素トレーニングに加え、週二回の筋力づくり運動を12週間行う11名 (年齢 66 ± 5 歳、身長 150.8 ± 5.1 cm、体重 54.5 ± 8.3 kg) と対照群として週一回の有酸素トレーニングのみを12週間行う11名 (年齢 68 ± 5

歳, 身長 $151.8 \pm 5.6\text{cm}$, 体重 $52.1 \pm 5.3\text{kg}$)とした。各被験者に対して, 事前に実験の主旨と内容について十分に説明した後, 被験者として自主的に実験に参加することの同意を得た。

1. 2 トレーニング内容

有酸素トレーニングは指導スタッフ1-3名とし, 1) 体調確認・血圧測定, 2) ウォーミングアップ(15分), 3) エアロビクス(35分), 4) チューブなどを使った補強運動(20分), 5) ストレッチ体操(10分), 6) クーリングダウン(10分)の一回合計90分であった。

筋力づくり運動は, 指導スタッフ5-6名とし, 1) 体調確認・血圧測定, 2) ウォーミングアップ・準備体操(10分), 3) 油圧式マシントレーニング6種目(ハイドラステップ, チェストプレス, ニーエクステンション/フレクション, AB/ADヒップ, シーテッドロングロウ, バック/アブドミナル, ミズノ社製)(35分), 4) ストレッチ(15分)の合計60分を週二回行った。各種目において1セットあたり10-15回(2-3セット), 強度はRPE 12-13(ややきつい)を基準とし, 4週間ごとに負荷レベルを調整した。

1. 3 運動トレーニング前後の検査

前後の検査は, 体重, 体脂肪率(オムロン社製カラダスキャン354IT), 血圧, 近赤外線分光装置(NIRS)(オムロン社製HEO-200)を用い筋の有酸素能を評価するトレッドミル歩行テストを行った。また, 等速性膝関節伸展・屈曲筋力, 足関節底屈・背屈筋力は, BIODEX(BIODEX社製BIODEX system 3)を用い角速度 $60^\circ/\text{sec}$, $180^\circ/\text{sec}$ 時のピークトルクを測定した。さらに, 平均歩数は, 歩数計(オムロン社製ヘルスカウンタHJ-720IT)を用い3週間分の記録のうち後半2週間の平均値を算出した。

1. 4 トレッドミル歩行テストによる筋有酸素能の評価法

トレッドミル歩行テストプロトコールと評価法を図1に示した。トレッドミル歩行テストは, 速度 2.4km/h , 斜度12%, 運動時間5分間行った^{8,9)}。筋の有酸素能(Muscle oxidative capacity)は, 腓腹筋内側の酸素化ヘモグロビン(HbO_2)回復時間(Recovery time: $\text{RT}_{1/2}$)^{5,13)}を用いて評価した。なお, プローブの送受光間距離は4cmとした。この場合, 測定深度は皮膚表面から2cmの筋組織の情報を評価していると推定される¹²⁾。

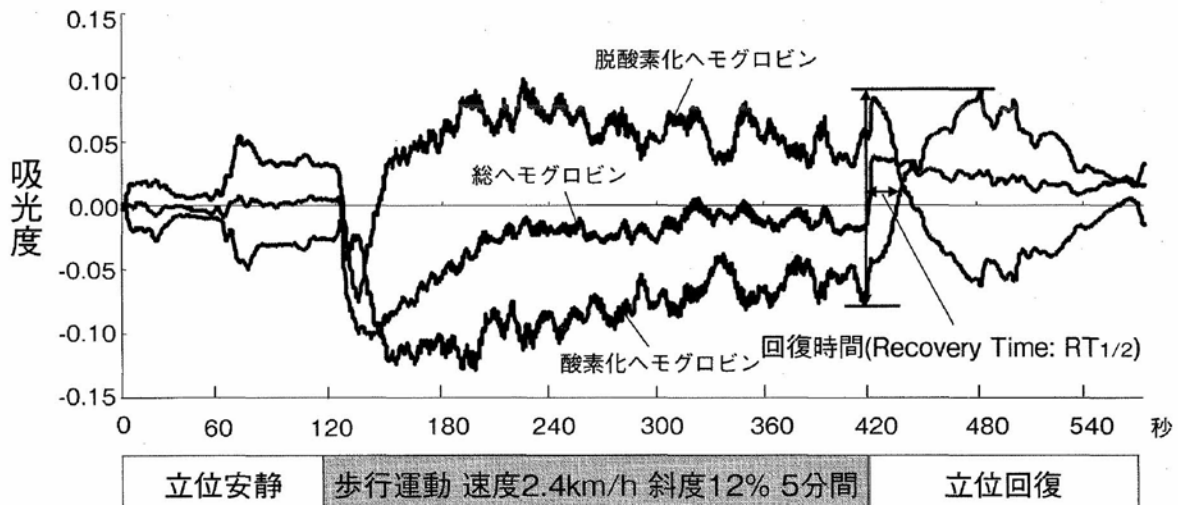


図1 トレッドミル歩行テストプロトコールと評価法

1. 5 データ解析

各測定値は全て平均値±標準偏差で表した。トレーニング前後および群間の比較には二元配置分散分析およびt検定を用いて解析し、危険率5%を有意水準とした。

2. 研究結果

トレーニング前後における体重、体脂肪率、安静時血圧の変化を図2に示す。体重、体脂肪率は、複合運動群のみ有意な減少を示した ($p<0.05$)。血圧においては、対照群のみ収縮期血圧が有意な減少を示した ($p<0.05$)。

トレーニング前後における等速性下肢筋力の変化を図3に示す。膝関節伸展筋力は、両群において角速度 $60^\circ/\text{sec}$ 、 $180^\circ/\text{sec}$ とも変化はなかった。膝関節屈曲筋力は、複合運動群のみ角速度 $60^\circ/\text{sec}$ 、 $180^\circ/\text{sec}$ のそれぞれに有意な増加を示した

($p<0.05$)。足関節背屈筋力は、複合運動群のみ角速度 $60^\circ/\text{sec}$ に有意な増加を示した ($p<0.05$)。足関節底屈筋力は、複合運動群のみ角速度 $60^\circ/\text{sec}$ 、 $180^\circ/\text{sec}$ のそれぞれに有意な増加を示した ($p<0.05$)。

トレーニング前後におけるトレッドミル歩行テスト時の筋酸素RT1/2を図4に示す。トレッドミル歩行テストにおいてRT1/2は、複合運動群のみ 16 ± 5 秒から 10 ± 3 秒と短縮し、筋の有酸素能の改善がみられた ($p<0.05$)。ただし、複合運動群の2名に関しては、歩行能力が高く、本研究で設定した速度では、歩行時から HbO_2 が変化を示さず、RT1/2は評価できなかった。

また、一日の平均歩数の変化は、複合運動群のみ 5649 ± 3087 歩から 7375 ± 3583 歩と有意な増加を示した ($p<0.05$)。対照群においては、 7803 ± 2409 歩から 8269 ± 2675 歩と有意な変化は

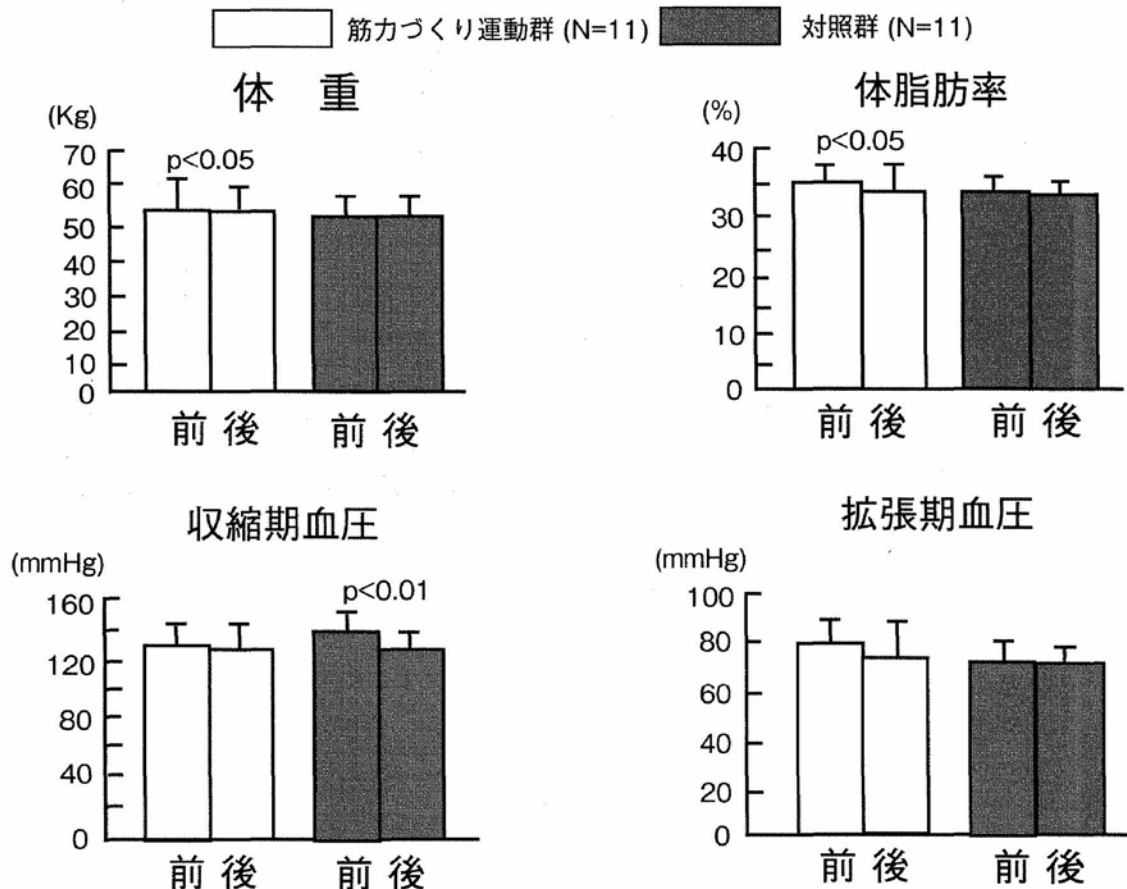


図2 トレーニング前後における体重、体脂肪率、安静時血圧の変化

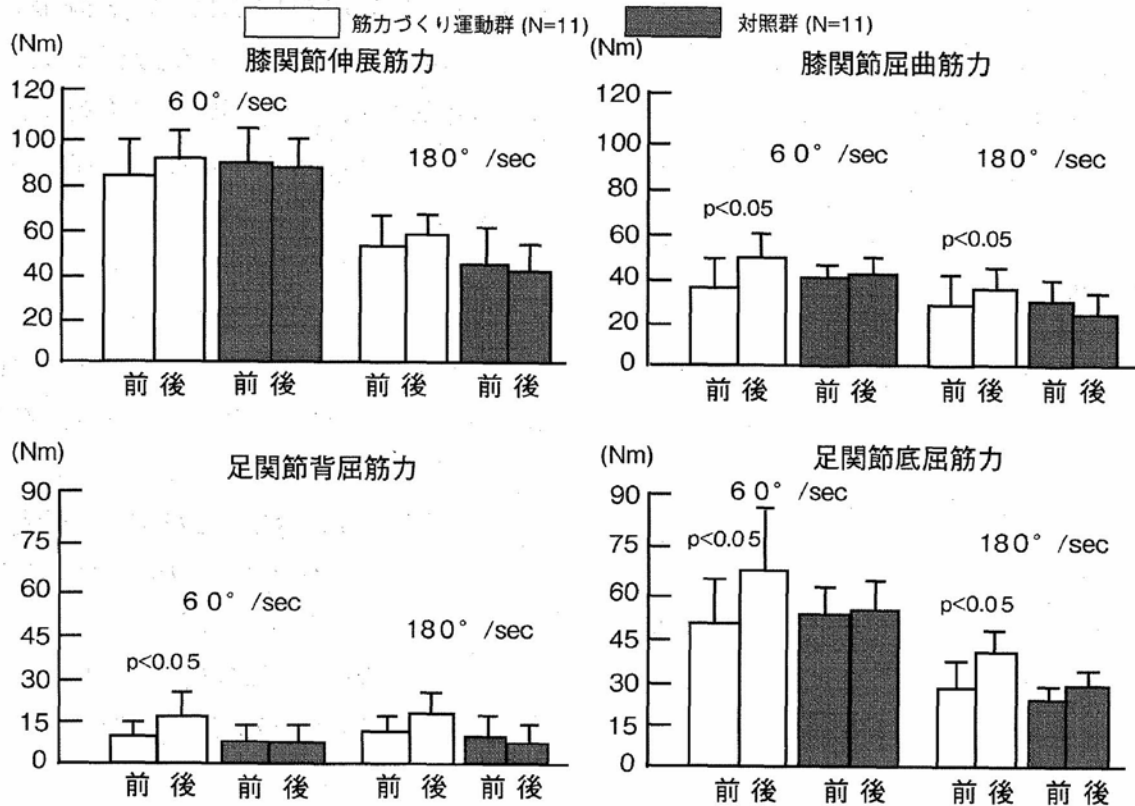


図3 トレーニング前後における等速性下肢筋力の変化

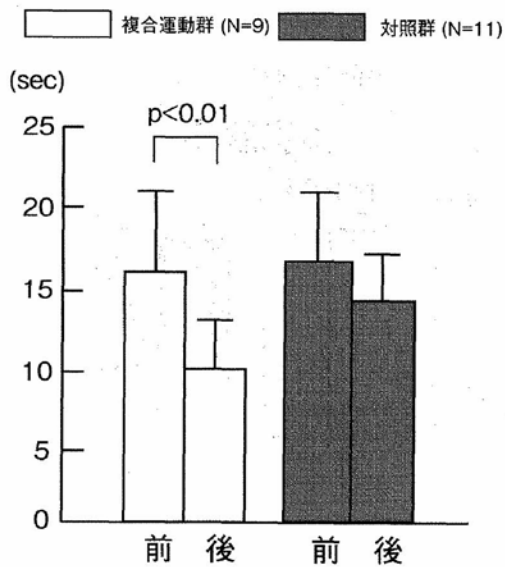


図4 トレーニング前後におけるトレッドミル歩行テスト時の乳酸素回復時間の変化

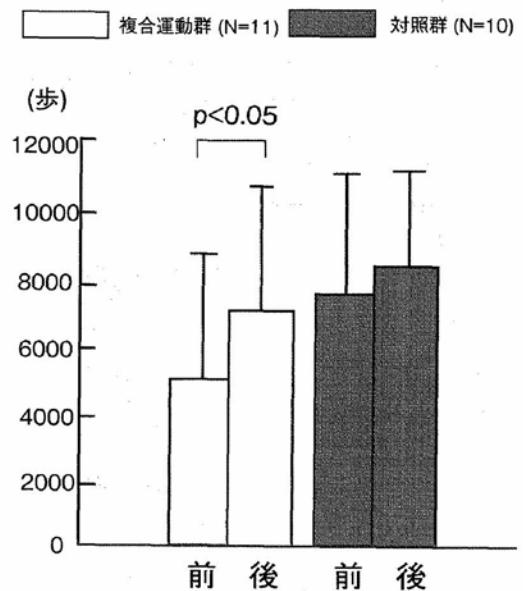


図5 トレーニング前後における平均歩数の変化

なかった (図5)。ただし、対照群において1名、トレーニング後の検査時にリタイヤした。

3. 考察

本研究において、高齢者の筋力づくり運動の介入による筋力増加は局所骨格筋の有酸素能の向上

にも貢献するのかどうか検討した結果、複合運動群のみが、体重・体脂肪率の減少、筋力の増加、平均歩数の増加を示し、さらにトレッドミル歩行により評価した筋の有酸素能の改善が確認された。この改善の理由として、複合運動による膝関節屈筋力、足関節背屈筋力および底屈筋力の増加、

有酸素運動と組み合わせて複合的に行った影響、さらに平均歩数（活動量）の増加が考えられる。

これまで、筋力トレーニングを行って筋有酸素能が向上したという研究は、いくつか報告されている^{6,7)}。Izquierdoら⁶⁾は、週二回の筋力トレーニングを16週間実施したところ、有酸素能の指標となる自転車負荷テストの最大仕事量が増加を示したと報告している。また、Jubriaら⁷⁾は、週三回の筋力トレーニングを24週間実施し、トレーニング前後に磁気共鳴分光装置 (³¹P-NMR) を用いて外側広筋のクレアチンリン酸 (PCr) の回復時定数を評価したところ、有意な短縮が確認されたと報告している。これは、筋有酸素能の改善を反映しており、われわれの研究結果を支持するものである。しかしながら、われわれの研究とトレーニング頻度と実施期間が異なることから、今後さらなる検討が必要と思われる。

これまで非侵襲的な筋の有酸素能の評価は、³¹P-NMR や NIRS を用いた研究により検証され^{4, 11, 13)}、最近の報告では、トレッドミル歩行^{8, 9)}、または自転車運動後⁵⁾の酸素化ヘモグロビンの回復時間にて筋の有酸素能が評価されている。Komiyamaら⁹⁾は、閉塞性動脈硬化症の患者を対象とした研究において、血流の阻害の程度とトレッドミル歩行終了時のHbO₂の回復時間との関係を報告している。本研究においても短時間で安全に評価できるKomiyamaら⁹⁾と同様のプロトコルを用いて、検討したところ、複合運動群はトレーニング後、RT1/2の短縮が認められた(図4)。このRT1/2の短縮について、Ichimuraら⁵⁾は、活動的な中高年と非活動的な中高年を対象として、RT1/2と年齢について検討した結果、日常活動量の多い群がRT1/2が短いことを示し、また最高酸素摂取量と相関があることを報告している。さらにHamaokaら³⁾は、アスリートと一般人のRT1/2を評価し、アスリートが一般人よりRT1/2が短いことを報告している。このことは、活動量

の増加はRT1/2の短縮を示唆するものであり、本研究で用いたRT1/2が高齢者の体力評価の指標として有効であることを示している。

本研究で確認されたRT1/2の短縮は、筋代謝の改善によるものか、血流の改善によるものなのか、あるいは筋力の増加によるものか、平均歩数の増加の影響なのか、詳細は不明であるが、複合運動の実施が、腓腹筋の酸素代謝の改善に貢献したものであると思われる。また、対照群については、週一回の有酸素運動のみでは、筋の有酸素能の改善は十分ではなかったことが示される。アメリカスポーツ医学会 (ACSM) のガイドライン¹⁾では、高齢者の心肺系の能力向上には最低週三回を推奨しているため、今後は、週三回の有酸素運動群の効果についても検討する必要がある。さらに、複合運動の効果を明らかにするため、週三回の筋力づくり運動群についても加えて、詳細に検討したい。

以上、本研究では、腓腹筋をモデルとして「高齢者の複合運動による筋力の増加は、局所骨格筋の有酸素能の向上にも貢献する」との仮説を立て、検証した結果、高齢者において週一回の有酸素運動と週二回の筋力づくり運動を12週間実施することで下肢筋力の増加と共に、筋の有酸素能が改善する可能性が示唆された。

本研究の知見は、健全な高齢者の運動プログラム作成に有用な情報を提供するものと考えられる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、研究助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚くお礼を申し上げます。また、本研究遂行に際し、ご協力を頂きました被検者の皆様をはじめ、筑波大学・白木先生、宮川先生、木塚研究室、武政研究室およびスポーツ医学の院生の方々に感謝いたします。さらに、ご助言を承りました筑波大学名誉教授芳賀脩光先生にお礼を申し上げます。

文 献

- 1) アメリカスポーツ医学会編 (日本体力医学会体力科学編集委員会監訳) : 運動処方 の指針, 運動負荷試験と運動プログラム, 南江堂, 東京, 262-268 (2006)
- 2) Harris B.A. The influence of endurance and resistance exercise on muscle capillarization in the elderly: a review. *Acta. Physiol. Scand.*, 185, 89-97 (2005)
- 3) Hamaoka T., Albani C., Chance B., Iwane H. A new method for the evaluation of muscle aerobic capacity in relation to physical activity measured by near-infrared spectroscopy. *Med. Sport Sci.*, 37, 421-429 (1992)
- 4) Hamaoka T., Iwane H., Shimomitsu T., Katsumura T., Murase N., Nishio S., Osada T., Kurosawa Y., Chance B. Noninvasive measures of oxidative metabolism on working human muscles by near-infrared spectroscopy. *J. Appl. Physiol.*, 81, 1410-1417 (1996)
- 5) Ichimura S., Murase N., Osada T., Kime R., Homma T., Ueda C., Nagasawa T., Motobe M., Hamaoka T., Katsumura T. Age and activity status affect muscle reoxygenation time after maximal cycling exercise. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 38, 1277-1281 (2006)
- 6) Izquierdo M., Ibanez J., Häkkinen K., Kraemer W.J., Larrion J.L., Gorostiaga E.M. Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36, 435-443 (2004)
- 7) Jubrias S.A., Esselman P.C., Price L.B., Cress M.E., Conley K.E. Large energetic adaptations of elderly muscle to resistance and endurance training. *J. Appl. Physiol.*, 90, 1663-1670 (2001)
- 8) Komiyama T., Onozuka A., Miyata T., Shigematsu H. Oxygen saturation measurement of calf muscle during exercise in intermittent claudication. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.*, 23, 388-392 (2002)
- 9) Komiyama T., Shigematsu H., Yasuhara H., Muto T. Near-infrared spectroscopy grades the severity of intermittent claudication in diabetics more accurately than ankle pressure measurement. *Br. J. Surg.*, 87, 459-466 (2000)
- 10) Kosek D.J., Kim J.S., Petrella J.K., Cross J.M., Bamman M.M. Efficacy of 3 days/wk resistance training on myofiber hypertrophy and myogenic mechanisms in young vs. older adults. *J. Appl. Physiol.*, 101, 531-544 (2006)
- 11) McCully K.K., Halber C., Posner J.D. Exercise-induced changes in oxygen saturation in the calf muscles of elderly subjects with peripheral vascular disease. *J. Gerontol.*, 49, B128-134 (1994)
- 12) McCully K.K., Hamaoka T. Near-infrared spectroscopy: what can it tell us about oxygen saturation in skeletal muscle? *Exerc. Sport. Sci. Rev.*, 28, 123-127 (2000)
- 13) McCully K.K., Iotti S., Kendrick K., Wang Z., Posner J.D., Leigh J.Jr, Chance B. Simultaneous in vivo measurements of HbO₂ saturation and PCr kinetics after exercise in normal humans. *J. Appl. Physiol.*, 77, 5-10 (1994)
- 14) Morse C.I., Thom J.M., Mian O.S., Muirhead A., Birch K.M., Narici M.V. Muscle strength, volume and activation following 12-month resistance training in 70-year-old males. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 95, 197-204 (2005)
- 15) Verney J., Kadi F., Saafi M.A., Piehl-Aulin K., Denis C. Combined lower body endurance and upper body resistance training improves performance and health parameters in healthy active elderly. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 97, 288-297 (2006)