

〔研究ノート〕

筋力改善のための運動学習に関する検討

岡西哲夫

要 旨

筋力増強運動の目的は、単なる筋力強化ではなく、患者の活動障害改善のための方法論を確立し、いかにその効果をあげることはないかと考える。しかし、筋力増強法の効果に関する変遷をみると、筋力増強運動の効果を如何に上げたらよいかについては、まだまだ明確な結論は出ていないようである。そこで、筋力増強運動の最終局面では、立位で行う筋力練習の必要性があると考え、高齢者の椅子からの立ち上がり動作を戦略選択と筋力との関係から分析し、高齢障害者の立ち上がり能力の効率的な改善をめざした筋力練習への適用を検討した。その結果、大腿骨頸部骨折患者では、モーメント戦略導入によって立ち上がり能力が改善し、モーメント戦略導入の有用性が示唆された。高齢障害者の筋力増強運動の効果をあげるには、筋力自体の強化とともに、鍛えられた筋力をいかに有効に与えられた課題の中で発揮するかという、運動学習の導入が重要となると考えられた。

キーワード：筋力増強運動，活動障害，立ち上がり戦略，筋力練習，運動学習，

はじめに

今日、筋力増強運動は、文字通り、筋力強化としてとらえられ、筋力トレーニング、あるいはレジスタンス・トレーニングなどと同様な用語として用いられている。しかし、Hettinger [1] によれば、トレーニングとは、「一般には、作業能力を高める目的で行われる活動のことである」と定義され、さらに、作業能力の向上に寄与する身体の器官系に応じて、骨と靭帯（可動性）、神経系、循環系、筋肉系の4つの系列に分けられている。そして今日、リハビリテーション医学の対象は、活動障害（activity disorders）[2]であることを考えれば、筋力増強運動は、萎縮した筋の単なる筋力強化としてとらえるのではなく、トレーニングの意味をもって、作業能力の低下→筋力の低下→筋萎縮に陥った患者の活動を高めることであり、障害に対する、リハビリテーション医学の方法論のうち、活動機能構造連関（activity-function-structure relationship：生物の機能と構造はその活動のレベルに適応して調整されている）[2]を利用した治療としてとらえる必要がある。すなわち、この身体の適応性の発現が規則的に繰り返される過程がトレーニングであり、それによって生じた機能および形状

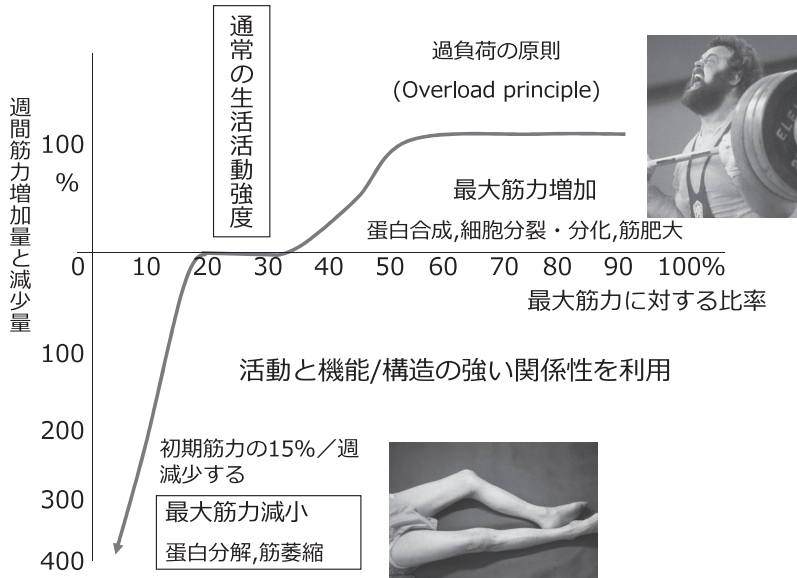


図1 過負荷の原則は、活動と機能構造連関の強い関係性を利用している

の変化をトレーニング効果としてとらえることになる。筋力増強運動の普遍的原理となった「過負荷の原則」も、このような活動機能構造の強い関係性を利用した原則と思われる（図1）。こうしてみると、筋力増強運動の目的は、対象者の活動障害改善のための方法論を確立し、その効果をいかにあげるかではないかと考える。しかし、筋力増強法の効果に関する文献的考察から、その効果をいかにあげたらよいかについてはまだまだ明確な答えは出ていないようである。そこで、視点を変えて、患者自身が、鍛えられた筋力を活動の中でいかに有効に発揮するかという、いわゆる運動学習の導入が課題になると考える。今回は、筋力増強法の歴史的変遷に関する文献的考察から、運動学習に関する問題点を抽出して、その問題点を改善する筋力練習を考案し、その効果を実証することによって、運動学習の意義とその視点に立った筋力増強運動の進め方を検討する。

筋力増強運動の目的と方法の変遷（図2）

筋力増強運動は、歴史的にみても、以下に述べる2つ方法に大別することができる。1つは1945年のDeLorme [3] の廃用性萎縮筋に対する漸増抵抗運動（progressive resistive exercise : PRE）の原法（heavy resistance exercise）であり、もう1つは1953年のHettingerとMüllerら [1] による等尺性収縮運動（アイソメトリックトレーニング）である。この2つは、筋収縮の種類が異なる（前者は等張性、後者は等尺性）がゆえに、それぞれ別々の筋力増強法となっているが、両者の理論の根幹にあるのは、いずれも前述の「過負荷の原則」である。

筋力改善のための運動学習に関する検討

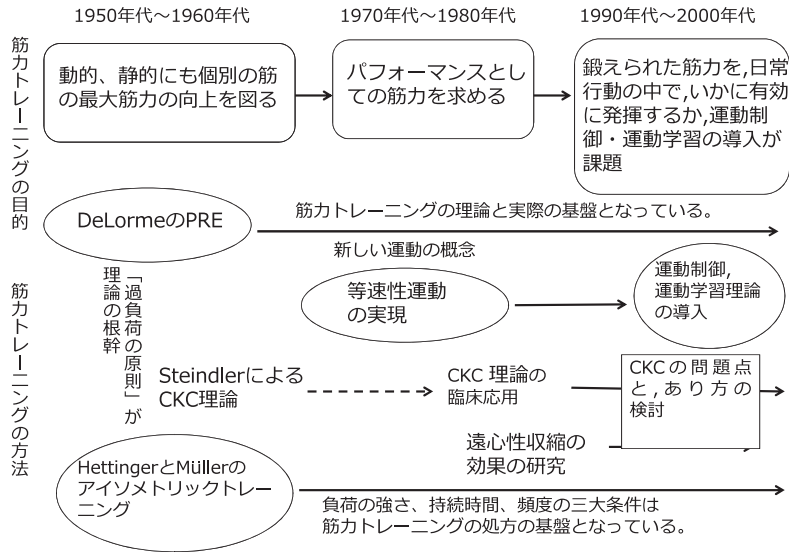


図2 筋力増強運動の目的と方法の変遷

1) DeLormeのPREの目的とその歴史的意義

DeLormeのPREの目的は大腿四頭筋の筋力を増強することにあるとされている。しかし、その原法である heavy resistance exercise [3] は、3つの運動学的特徴に集約できる。すなわち、1) 無荷重での抵抗運動の重要性、2) 筋の機能（内側広筋の特別な役割）の重視、3) 筋の生理学的効果を最大に得ることであり、DeLormeのPREに関わる筋の機能と筋の生理学的要因を根拠とした知見は、今日においても筋力増強方法論の基盤となっている。

2) Hettinger, Müllerらのアイソメトリックトレーニングの歴史的意義

一方、Hettingerは、萎縮した筋のトレーニングとして、種々のスポーツの典型的な動きの中から瞬間的なポーズを取り出し、その瞬間的なポーズを作る筋の作用が最大に発揮できるように抵抗を効果的に与えている [1]。これは筋力増強法として、パフォーマンスを意識した極めて実践的な方法論と推察する。さらにHettingerは、萎縮筋に対する筋力強化法として、いわゆる最大筋力の3分の2の負荷で1日1回、6秒間のアイソメトリック運動プログラムを発表した。この方法は、これまで経験的に実施されてきた過負荷の原則を、負荷の強さ・持続時間・頻度を三大条件として系統的に理論化したことの歴史的業績は極めて大きいといえる。

3) 筋力増強法の目的の変遷とその効果の検討

1950年代から1960年代にかけての筋力増強法は、前述のように、等張性（動的な）運動と等尺性（静的な）運動により、個別の筋の最大筋力の向上を図ることが目的であった。しかし、この2つの運動はいずれも短所があった。すなわち前者は、全可動域を通して最大負荷を与えたり、運動速度を一定にしての筋力トレーニングは不可能であり、後者はHettinger自身も述べているように、関節の

運動性を高めることや、循環系の負荷能力を高めることは望めなかった。1967年、Thistleら [4] によって、全く新しい運動の概念として等速性運動が発表された背景には、このような両者の問題点を解決し、効果的な筋力増強法を求めようとする時代的要請があったものと思われる。筋力増強運動の目的は、このような等速性運動の実現によって、個別の筋の最大筋力を求めることから、パフォーマンスとしての筋力を求めることへと大きく変遷し、いわゆるPRT (progressive resistance training: 歴史的には前述したようにDelormeのPREとして命名されている) として、虚弱高齢者のための効果的な筋力増強法となった。

筋力増強法 (PRT) の問題点とその改善のための運動学習の導入

1990～1994年、米国で高齢者の筋力介入に関して、それまでの常識を打ち破る衝撃的な論文が報告された。それはFiataroneら [5] による要介護高齢者でも、PRTは、身体活動に有用であり、負荷の強さも若年者と同様に強いほど効果があるというものであった。このエビデンスによって、筋力低下は高齢者の活動の低下と密接な関連していることが実証されたことから、筋力介入によって、日常生活活動 (ADL) の向上や転倒予防をめざした研究が盛んに行われるようになった。しかし、一方、強い負荷によるPRTは膝関節や腰痛など筋・骨格系に有害な影響を及ぼすとの報告 [6] や、筋力増強は機能的制限には有効な介入方法であるが、その成果として活動障害や健康QOLに対する効果があるかどうかは確定していないとの指摘もある [7]。また、小竹ら [8] は、椅子からの立ち上がりに要した大殿筋筋力 (最大筋力の27%) と大腿四頭筋筋力 (最大筋力の30%) は、Hettinger [1] が指摘するADLに必要な20～30%に相当することから、筋力維持には、椅子からの立ち上がり練習で充分であり、重りを用いた抵抗運動は筋萎縮のある対象者に適さないだろうと提言している。

このようにして筋力増強法の変遷をみると、その理論は確立したが、その効果をいかにあげたらよいかについては、まだまだ明確な答えは出ていないようである。そこで、視点を変えて、鍛えられた筋力を患者自身が日常生活の中でいかに有効に発揮するか、いわゆる運動学習の導入が課題になると考える。才藤 [9] によれば、Parsonsの役割理論から、リハビリテーション医療場面では、治療者は教師としての役割をもち、患者は学習者としての役割をもつ。筋力増強運動の効果を上げるためには、このような患者に対する、運動・動作の仕方の指導、すなわち患者教育 (患者側からすれば運動学習) の検討が重要な課題になってくる。

1) 筋力増強運動の最終局面について

筋力増強運動と移乗・移動動作に関する症例の中から、観察研究的に運動学習に関する問題点を抽出してみると、筋持久力が充分増大したとしても、患者は、立ち上がりや歩行時に、荷重不安を訴えることがある。このような場合、筋力増強運動を臥位や座位で行うのではなく、よりバランス保持が必要な立位で行う動作を通じて筋力発揮の仕方の練習、いわゆる筋力練習を行った方が良いと推察できる。そこで著者ら [10] は、人工関節全置換術 (以下THRと略す) の患者5例 (平均年齢64.8歳) に対して、壁を利用した筋力練習法 (壁に上肢を固定して、いわゆるSteindler [11] が、運動して

いる分節の遠位部が荷重している状態と定義する閉鎖性運動連鎖（closed kinetic chain：CKC）を利用した片脚起立と踵・爪先立ち運動で筋疲労感をめやすに反復練習を行い、従来群（臥位や座位での運動法を用いた群）10例と、術後から片脚起立までの期間を比較した結果、従来群が平均5.08か月に対して、壁押し群は平均2.85か月に短縮傾向が認められた。

THR術後の患者に対する壁押し運動や、椅子からの立ち上がり動作練習の時間配分を多くすると、荷重不安に改善がみられたことから、筋力増強運動の最終局面では、CKCの理論を応用して、片脚起立や爪先立ち、さらに椅子からの立ち上がりの様な動作を行うことは、背臥位や座位で下肢の筋を個別に運動する方法に比べて、より実践的な下肢筋力発揮を習得させることにつながると考えられた。

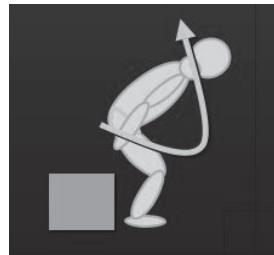
2) 椅子からの立ち上がり戦略と立ち上がり能力改善をめざした筋力練習

椅子からの立ち上がり動作は、最近では、特に高齢者におけるこの動作の困難性 [12] から、下肢筋力低下との関連 [13]、や生体力学的分析 [14]、そして移乗・移動動作能力の指標 [15, 16, 17] などの諸点から研究の対象とされている。一方、機能回復と運動制御、さらには運動学習理論 [18] の観点から、椅子から立ち上がるという課題と身体状況（個人）と環境の相互作用として、この動作が論じられている場合もある [19]。さらに、椅子からの立ち上がり動作には、運動制御の視点から2つの戦略があるという考え方がある [20]。すなわち、あらかじめ殿部を前方に位置させ踵との距離を短くして、重心を両足底支持面に入れて下肢筋力を利用して立ち上がる戦略と、体幹の前方移動によって、下肢筋力発揮をむしろ減少させながら起立する戦略である。ここでは前者をバランス能力を比較的不要としない安定性の高い方法であることからスタビライズ戦略と呼び、後者を股関節を軸とした体幹の前方移動を膝の伸展モーメントに利用することから、モーメント戦略と呼ぶこととする(図3)。そこで、筋力増強運動の最終局面として、高齢者の椅子からの立ち上がり動作を戦略選択と筋力との関係という側面から分析し、高齢障害者の立ち上がり能力の効率的な改善をめざした筋力練習への適用を検討した。

立ち上がり戦略



力制御戦略（スタビライズ戦略
： stabilization strategy）



運動量戦略（モーメント戦略
： momentum strategy）

図3 立ち上がり戦略：スタビライズ戦略とモーメント戦略

3) 立ち上がり動作能力改善をめざした筋力練習の結果と考察

健常高齢者20例（平均年齢63.4歳）において片足立ち能力からみたバランス能力（安定群と不安定群）と筋電図（内側広筋，両側脊柱起立筋）からみた立ち上がり戦略（モーメント戦略とスタビライズ戦略）とを比較し，安定群でモーメント戦略，不安定群でスタビライズ戦略を用いることを確認した。さらに大腿骨頸部骨折患者9例では，モーメント戦略導入によって立ち上がり能力が改善し，モーメント戦略導入の有用性が示唆された。高齢障害者に対する立ち上がり動作では，スキルが必要となるモーメント戦略か，一定以上の下肢筋力が必要となるスタビライズ戦略のいずれかを状況に応じて選択する必要性が示唆された [21]。

このような結果から，高齢障害者の筋力増強運動の効果を上げるには，筋力自体の強化とともに，立ち上がり動作でみられたように，立位で行う筋力トレーニングとして，鍛えられた筋力をいかに有効に与えられた課題の中で発揮させるかかも重要と考えられた。しかも，基本動作とADL項目との関係に視点をおけば，基本動作としての立ち上がり動作は，それ自体としてではなく，広く活動として機能した時に，初めてADL遂行の手段としての意義をもつことから，筋力は，関節運動，基本動作，さらに広く活動において，機能として有効に働くことがADL遂行のために極めて重要となると考えられた。(図4)。なぜならば，一度，体幹や四肢に筋力低下を有すれば，歩行以上に困難（機能的制限）を引き起こし，時に転倒を引き起こすだけでなく，生活の質（quality of life : QOL）を低下させる原因となるからである。大腿骨頸部骨折のほとんどが転倒に起因するが，転倒に関する研究結果において，筋力低下が転倒発生の中で最も高いリスク因子であると報告されている [22]。また Brownら [23] は，バランスを維持する筋力の低下により，前方に重量物を持つことによって重心はさらに前に移動して，前後のバランスを失い転倒することもあると指摘している。一方，高齢者の転倒予防に関する研究では，Sherringtonら [24] は，大腿骨頸部/転子部骨折後患者に対して，家庭での荷重練習（椅子からの立ち上がりや台へのステップ練習）を行った運動群と対照群（無荷重で

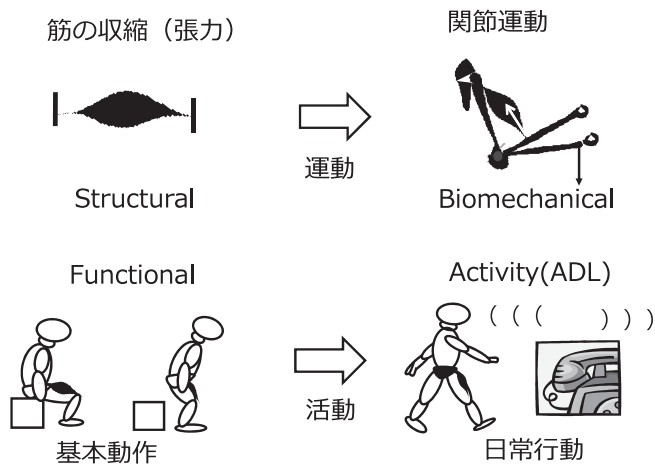


図4 筋力は関節運動，基本動作，さらに活動において，機能として有効に働くことが重要となる

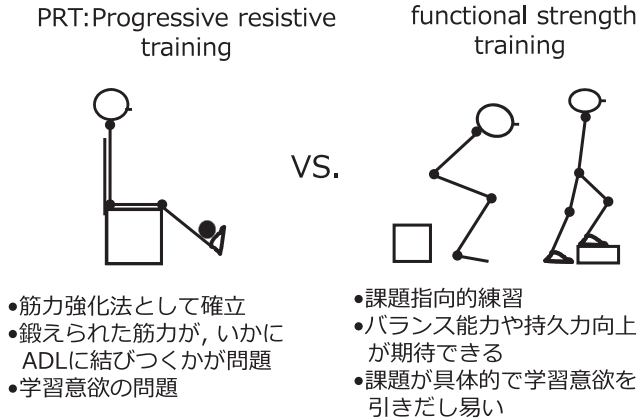


図5 PRTとFunctional strength training（機能的筋力トレーニング）の効果の比較

の股関節、膝関節周囲の筋群の抵抗運動)を比較して4か月のRCTでは、荷重練習群で大腿四頭筋力の改善を認めている。また、最近の脳卒中ガイドライン [25] では、起立一着席や歩行練習などの下肢練習量を多くすることが、歩行能力の改善のために強く勧められ、健側を含む全身の筋力増強が期待されている。さらに高齢者や片麻痺患者に対する多様な姿勢での立位バランスや、多様な高さやステップ台を使用して、椅子からの立ち上がりや、前後、左右のステップ練習などを導入した課題志向的トレーニング (Task-oriented training) のPRTと比較して、その有効性が検証されている [26, 27, 28] (図5)。その中で、de Vreedeら [26] は、抵抗運動 (PRT) は、ADLへの転移 (運動学習の効果判定要因)が機能的課題プログラムに比べて低いと指摘している。また、Carr, Shepherdら [29] は、食膳を両手で持った立ち上がり練習や座位に戻る際に動作を止める練習 (functional strength training: 機能的筋力トレーニング) は、バランス能力や持久力向上が期待できると提言している。

このようにみえてくると、筋力増強運動の最終局面では、臥位や座位で行うのではなく、よりバランス保持が必要な立位で行う筋力練習で行い、有効な下肢筋力発揮方法を習得させることが重要と考えられた。そして高齢障害者の筋力増強運動の効果を上げるには、筋力自体の強化とともに、機能的制限、さらに活動障害の改善に視点に置きながら、鍛えられた筋力をいかに有効に与えられた課題の中で発揮するかという、運動学習の導入が重要となると考えられた。今後は課題指向的トレーニングの効果に関する研究の必要性が示唆された。

参考文献

- [1] Th. ヘティンガー著、猪飼道夫、松井秀治 (訳) (1982) アイソメトリックトレーニング—筋力トレーニングの理論と実際. 大修館書店、東京、pp. 79-139, 207-227
- [2] 才藤栄一 (2012) 高齢社会とリハビリテーション医療. The Bone 26: 21-27
- [3] De Lorme TL (1945) Restoration of muscle power by heavy-resistance exercise. J Bone Joint Surg 27:

645-667

- [4] Thistle HG, Hislop, HJ, Moffroid M, and Lowman EW. (1967) Isokinetic contraction: a new concept of resistive exercise. *Arch Phys Med Rehabil* 48: 279-282
- [5] Fiatarone MA, Marks EC, Ryan ND, Meredith CN, Lipsitz LA, and Evance WJ (1990) High-intensity strength training in nonagenarians effect on skeletal muscle. *JAMA*263: 3029-3034
- [6] Latham, NK., Anderson, CS, Lee, A, Bennett, DA, Moseley, A, and Cameron, ID; Fitness Collaborative Group (2003) A randomized, controlled trial of quadriceps resistance exercise and vitamin D in frail older people: the Frailty Intervention Trial in Elderly Subjects (FITNESS). *J Am Geriatr Soc* 51: 291-299
- [7] Latham, NK, Anderson, CS, Bennett, DA, and Stretton, C (2003) Progressive resistance strength training for physical disability in older people. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2. CD002759
- [8] Kotake T, Dohi N, kajiwara T Sumi N, Koyama Y (1993) An analysis of sit-to stand movement. *Arch Phys Med Rehabil* 74: 1095-1099
- [9] 才藤栄一 (1995) 社会心理学 (役割理論を中心に). 才藤栄一, 渡辺俊之, 保坂 隆 (編) リハビリテーション医療心理学キーワード. エヌ&エヌパブリッシング, 東京 pp. 21-25
- [10] 岡西哲夫, 梶原敏夫 (1990) 壁を利用した筋力増強訓練法について. *東海理療士会誌*, 7: 71
- [11] Steindler, A (1973) *Kinesiology of the Human Body Under Normal and Pathological Conditions*. Thomas, Springfield, Ill, pp63-64
- [12] Masdew, JC, Sudarsky, L, and Wolfson L (1997) Gait disorders of aging falls and therapeutic strategies. *Lippincott-Raven, Philadelphia*, pp. 93-105
- [13] 森圭貢, 山崎裕司, 横山仁志, 青木詩子, 笠原美千代, 平木幸治 (2002) 立ち上がりの可否と下肢筋力の関連—高齢入院患者における検討—. *総合リハ*30: 167-171
- [14] Schultz, A. B., Alexander, N. B., and Ashton-Miller, J. A. (1992) Biomechanical analysis of rising from a chair. *J. Biomech.* 25: 1383-1391
- [15] Jones, C. J., Rikli, R. E., and Beam, W. C. (1999) A 30-s chair-stand test as measures of lower body strength in community-residing older adults. *Res. Q. Exerc. Sport* 70: 113-119
- [16] 横川正美, 司艶玲, 三秋泰一, 武村啓住, 州崎俊男, 青木正典, 立野勝彦 (2004) 高齢女性における下肢筋力と椅子からの立ち上がり動作時間との関係. *総合リハ*32: 175-180
- [17] Stephen, R. L., Catherine, Sherrington, and Hylton, B. M (2001) Falls in older people Riskfactors and strategies for prevension. *Cambridge University Press.*: pp. 199-200
- [18] Schmidt, R. A., and Wrisberg, C. A (2000) *Motor learning and performance* 2nd ed. *Human kinetics*: pp. 3-25
- [19] Shumway-Cook, A., and Woollacott, M. H. (2001) *Motor Control Theory and practical application* 2nd ed. *Lippencott Williams & Wilkins, Philadelphia*: pp. 1-25
- [20] Schenkman, M., Berger, R. A., Riley, P. O., Mann, R. W., and Hodge, W. A. (1990) Whole-body movements during rising to standing from sitting. *Phys. Ther.* 70: 638-648
- [21] 岡西哲夫, 近藤和泉, 都築晃, 伊藤直樹, 櫻井宏明, 村岡慶裕, 才藤栄一 (2010) 高齢者の立ち上がり戦略とその臨床応用. *藤田学園医学誌*. 34: 103-107
- [22] 鳥羽研二 (2012) 高齢者の転倒予防ガイドライン, メジカルビュー社, pp. 94, 95, 141
- [23] Brown M, Sinacore DR, Host HH (1995) The relationship of strength to function in the older adult. *the J Gelontology A*, 50A: 55-59
- [24] Sherrington C. Lord SR, Herbert RD (2004) A randomized controlled trial of weight-bearing versus non-

筋力改善のための運動学習に関する検討

weight-bearing exercise for improving physical ability after usual care for hip fracture. Arch Phys Med Rehabil. 78: 710-716

- [25] 脳卒中合同ガイドライン委員会（2009）脳卒中ガイドライン2009. リハビリテーション, 2-2.歩行障害に対するリハビリテーション: pp300-304
- [26] de Vreede PL, Samson MM, Meeteren NL, Duursma SA and Verhaar HJ (2005) Functional- Task exercise versus resistance strength exercise to improve daily function in older women: randomized, controlled trial. J Am Geriatr Soc. 53: 2-10
- [27] Yang WR (2006) Task-oriented progressive resistance strength training improve muscle strength and functional performance in individual with stroke. Clinical Rehabilitation. 20: 860-870
- [28] 橋立博幸, 島田裕之, 潮見泰泰蔵, 笹本憲男 (2012) 高齢者における筋力増強運動を含む機能的トレーニングが生活機能に及ぼす影響. 理学療法学. 39: 159-166
- [29] Carr JH, and Shepherd RB (2010) Neurological Rehabilitation optimizing motor performance. 2nd ED. Churchill Livingstone. pp. 83-94

Effect of Motor Learning for Muscle Strengthening

Tetsuo Okanishi

Abstract

It was considered the muscle strengthening is not simple muscle strength but also to establish the principles for improvement of the active disorders. However, from historical changes on the effect of muscle strengthening method, a clear conclusion still does not seem to come out about how to increase the effects of muscle strengthening.

Therefore the author believed that there is a need for muscle strength to practice to be performed in the upright position, as final phase of muscle strengthening, the author analyzed in relation to the strength and strategy selects about sit to stand of the elderly, and examined the application of muscle strength to practice with the aim of improving the efficient of the rising ability of disabled elderly. as a result, the hip fracture patients, rising capability is improved by the introduction of the momentum strategy, usefulness of the momentum strategy introduced was suggested.

It was considered that (the introduction of the so-called motor learning) is also important to demonstrate how effectively the muscle strength that is trained in a given task.