

2017年度学術講演会報告

日常生活動作から身体運動のメカニズムを考える
— 立ち上がり動作の分析からみた下肢筋力測定法の開発 —

吉岡 伸輔

Introduction of Human Movement Mechanisms
from The View Point of Sit-To-Stand Movement.
— Development of Evaluation Method of Lower Limb Strength
with The Squat-To-Stand Motion —

Shinsuke YOSHIOKA

1. はじめに

人間の筋力は加齢とともに低下する。筋力の低下は移動能力の低下を引き起こし、最終的に要介護状態を招くことさえある。超高齢化社会を迎えた日本において、高齢者が生き生きとした生活を生涯送り続けるためには、筋機能の向上や維持が重要となる。

本発表では、発表者らの椅子立ち上がり動作に関する研究知見を中心に、椅子立ち上がり動作の力学的メカニズムについて解説した上で、その知見を活用した下肢の筋機能評価方法について紹介した。また、各種の筋の評価法について紹介し、それぞれの手法の特徴について、ヒト動作の成り立ちと合わせて解説した。

2. 日常生活に必要とされる最小下肢筋力とは

人々は多様な環境で生活を営んでいる。その多様さから、各個人の生活に必要とされる下肢（足腰）の筋力（脚力）水準もまた多様であると考えられる。そのため、必要最小下肢筋力を考えるにあたって、その点を事前に整理する必要

がある。

日常生活動作の中で、下肢への負荷の高い動作は、階段昇り動作と椅子立ち上がり動作であると言われており、とりわけ椅子立ち上がり動作の負荷が高いことが報告されている (Ploutz-Snyder et al., 2002)。加えて、バリアフリー化された生活環境であっても必ず実施する必要のある動作であることから、生活の障害となり得る動作である。一方の階段昇り動作については、エスカレーターやエレベーターで補助可能であり、公共施設および住宅ともにバリアフリー化のための整備の進んだ昨今の社会環境では必須の動作とは言えない状況にあり、生活の障害となる場合には回避可能な動作と言える。このような背景から、生活環境の多様さによる最小筋力の差が存在したとしても、多くのケースにおいて椅子立ち上がり動作に必要となる筋力が日常生活動作に最小下肢筋力に等価であると考えられる (図1)。以上のことから、発表者らは椅子立ち上がり動作に着目して研究を行ってきた。



図1：日常生活に必要な下肢筋力と椅子立ち上がり動作に必要な下肢筋力の関係

3. 椅子立ち上がり動作の必要最小筋力値

発表者は立ち上がり動作の力学的メカニズムを明らかにすることを目的に研究を行ってきた。最初の研究 (Yoshioka et al., 2007) では、椅子立ち上がり動作に必要な最小筋力を明らかにするため、順運動学的シミュレーションを用いて約16万試行の多種多様な動作を生成し、それらの動作で発揮される力 (関節モーメント) について網羅的な解析を実施した。この解析を通して次の2つの知見を得た：1) 立ち上がり動作のための力発揮において股関節と膝関節が相補的な関係性を持って活動すること、2) 必要最小筋力値は片脚あたり股関節と膝関節の筋力の合計値で1.5 Nm/kgであること。股関節と膝関節の筋力が同等であると仮定した場合、1.5 Nm/kgという値は、介護施設に入居している虚弱高齢者の筋力 (Whipple et al., 1987) よりも高く、健康者の筋力 (Runnells et al., 2005) よりも低い値となる。この事は研究結果の妥当性をサポートする結果であると言える。また、先行研究における介護施設の入居者が腕の補助なしで立ち上がることが力学的に不可能であったことを示しており、日常生活における困難感に繋がっていたものと予想される結果である。なお、後者の知見 (1.5 Nm/kg) は運動方程式から解析的に導出することも可能であり、講演では導出過程についても概要を述べた (図2AおよびB) (Yoshioka et al., 2013)。

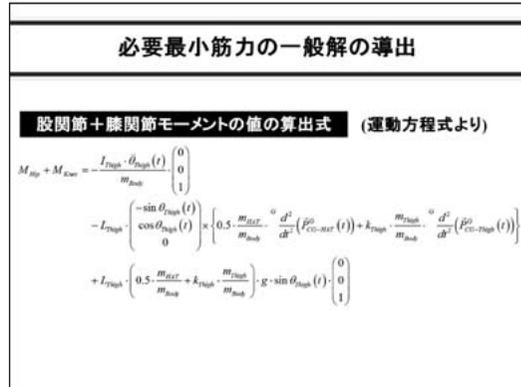


図2A：必要最小筋力の一般解導出の手順1

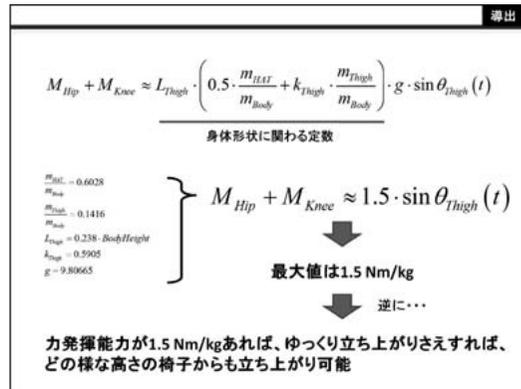


図2B：必要最小筋力の一般解導出の手順2

4. 動作の速さおよび椅子高が椅子立ち上がり動作の力学的負荷に与える影響について

我々は経験的に、椅子から立ち上がる負荷 (辛さ) が動作の速さや椅子の高さによって変わることを知っている。その点についての知見 (Yoshioka et al., 2009, 2014) も合わせて紹介した。

動作の速さは2~3秒で立ち上がる程度の動作を境に、必要な筋力 (力学的負荷) が異なる (図3)。それよりも遅い場合は動作の速さの影響は非常に小さく、おおよそ一定の負荷となる。また、その値は先述の1.5 Nm/kgに一致する。一方、速い場合は、指数関数的に必要な筋力が増大する。1秒の動作では約2.3 Nm/kgと最小筋力よりも1.3倍の筋力が必要となる。

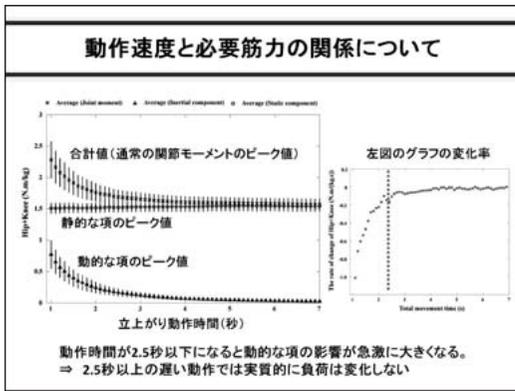


図3：動作速度と必要筋力の関係を説明したスライド

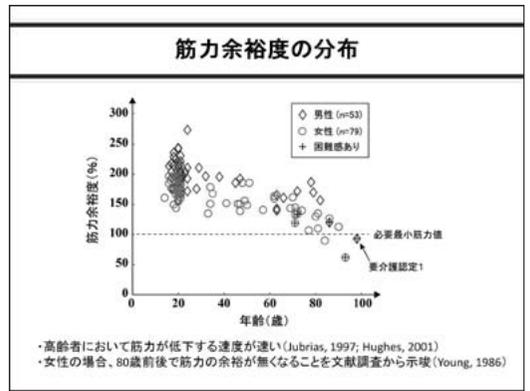


図5：加齢による筋力余裕度の変化を横断的にみた図

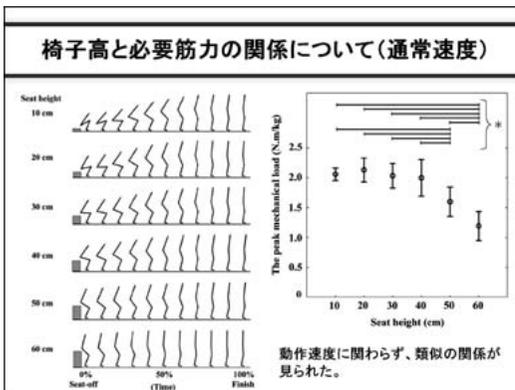


図4：椅子高と必要筋力の関係を説明したスライド

椅子高では30~40 cmの高さを境に、必要な筋力が異なる(図4)。それよりも低い場合は高さの影響はなく、一定の負荷となる。また、その値は先述の1.5 Nm/kgに一致する。一方、高い場合は、大腿部の水平面からの角度の正弦(sin)に比例して必要筋力が変化する。日本において、椅子高は40 cm程度が一般的であることを考慮すると、各家庭で使用する椅子の違いによる必要最小筋力の差異は小さい。

5. 筋力余裕道計

前節までのことから、椅子立ち上がりにおける必要最小筋力は環境が多少変わっても一定の値であることが分かる(図3および4)。発表者らは、この値を基準とした指標(筋力余裕度)

を提案し、その値を計測できる機器(筋力余裕度計)を開発した(Yoshioka et al., 2013)。

体組成計が日常生活に浸透して体脂肪の観点から健康増進の啓発や動機付けの役割を果たしている。本機器は筋機能の観点から同様の役割を担うことを目指したものである。そのため、計測方法についてコスト低下を見込める方法を検討した。結果として、加速度センサ・ジャイロセンサ・逆動力学を用いた方法を採用した。光学式モーションキャプチャシステムと逆動力学を用いた解析はバイオメカニクス分野において広く用いられているが、基本的原理は同様である。また、得られた値との一致度も高く(決定係数0.99)、コストパフォーマンスに優れた手法と言える。

実際に幅広い年齢層を対象に筋力余裕度を計測したところ、筋機能が年齢とともに低下する様子(加齢変化)や女性の場合において80歳前後で筋力の余裕がなくなるという文献調査(Young, 1986)と一致する結果を得た(図5)。

以上の発表に加えて、要介護者や麻痺を有する方のデータ(未発表データ)を加えた結果も合わせて紹介し、多面的な観点から今後の活用の可能性について検討中であることを説明した。

6. 他の筋力指標との比較

筋の評価法は多種多様なものが考案されてきた。固有筋張力(単位断面積あたりの筋力)等

の一部結果を除き、いずれの手法においても加齢とともに筋が小さく・弱くなる結果が得られる。そのため、一般的には類似のものとして使用（理解）されることが多い。この類似のものとしての理解は、時に排他的な思考（どの評価手法が良いかという考え）を生み、また、他の評価指標の結果の類似性のみを妥当性の基準とする思考を生み、各評価指標に含まれる貴重な情報を取りこぼすことにつながっているように発表者は感じる。そこで、発表では代表的な筋評価法の違いについて解説し、複数の手法を合わせて利用することの有用性を紹介した。

発表では、ヒトの運動が生じる仕組みについて示した簡単な模式図（図6）を用いて、筋形態・ダイナモメーターを用いた単関節の筋力・跳躍高・筋力余裕度等の評価法について、それ

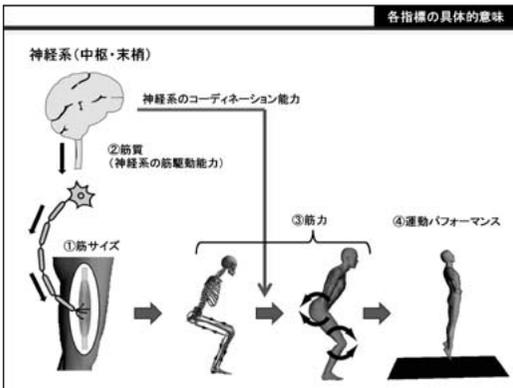


図6：ヒトの運動が生じる仕組みについて示した模式図

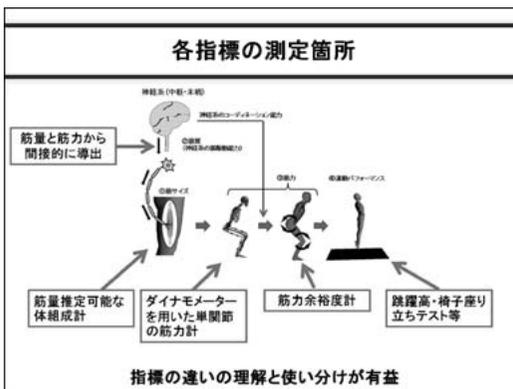


図7：各種の筋評価手法の測定箇所を示した図

ぞれの指標が何を測定しているのか、そして、どの点で異なるのかという点について解説した（図7）。また、それらの指標を合わせて考えることで、神経的な要因による筋機能低下なども推測可能であることを説明した。最後に、虚弱高齢者の筋量と筋力余裕度の相関をとった結果例を示し、相関しないこと、また、その結果の解釈の仕方について発表者の考えを述べた。

7. まとめ

筋機能とパフォーマンスの関係は古くから調べられてきたが、今なお不明な点も多い。筋機能が改善したにも関わらずパフォーマンスが変わらないという報告（例、Earles et al., 2001）や、逆に筋機能の改善なくパフォーマンスが改善したという報告（例、Alexander et al., 2001）など、筋機能の改善＝パフォーマンス改善とはならない点に、複合的かつ多面的な筋機能評価および関連する身体機能評価の必要性が垣間見える。今回の発表で示した多指標の複合的活用は、その様な必要性に応えるものであり、筋機能評価に携わる方に一考いただきたいものである。なお、ヒト身体運動ではシステム全体として動作が調整されていることから、各要素に加えて全体での調整過程も考慮した分析が必要である。発表者の知る限り、現状ではその手法については提案されているものはない。その様な手法の開発が今後の課題であることを述べて本稿を締めさせていただきます。

引用文献

Ploutz-Snyder LL, Manini T, Ploutz-Snyder RJ, Wolf DA: Functionally relevant thresholds of quadriceps femoris strength. *Journals of Gerontology Series A, Biological Sciences and Medical Sciences.* 57, pp. B144-152, 2002.

Yoshioka S, Nagano A, Himeno R, Fukashiro S: Computation of the kinematics and the minimum peak joint moments of sit-to-stand movements. *Biomed Eng Online.* 6, 1-14, 2007.

Whipple RH, Wolfson LI, Amerman PM: The

- relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home residents: an isokinetic study. *Journal of the American Geriatrics Society*. 35, 13-20, 1987.
- Runnels ED, Bemben DA, Anderson MA, Bem-ben MG: Influence of age on isometric, isotonic, and isokinetic force production characteristics in men. *Journal of geriatric physical therapy*. 28, 74-84, 2005.
- Yoshioka S, Nagano A, Hay DC, Tabata I, Isaka T, Iemitsu M, Fukashiro S: New Method of Evaluating Muscular Strength of Lower Limb Using MEMS Acceleration and Gyro Sensors. *Journal of Robotics and Mechatronics*. 25, 153-161, 2013.
- Yoshioka S, Nagano A, Hay DC, Fukashiro S: Biomechanical analysis of the relation between movement time and joint moment development during a sit-to-stand task. *Biomed Eng Online*. 8, 1-14, 2009.
- Yoshioka S, Nagano A, Hay DC, Fukashiro S: Peak hip and knee joint moments during a sit-to-stand movement are invariant to the change of seat height within the range of low to normal seat height. *Biomed Eng Online*. 13, 1-13, 2014.
- Young A: *Exercise Physiology in Geriatric Practice*. *Acta Med Scand, Suppl.* 711, 227-232, 1986.
- Earles DR, Judge JO, Gunnarsson OT: Velocity training induces power-specific adaptations in highly functioning older adults, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82(7), 872-878, 2001.
- Alexander NB, Galecki AT, Grenier ML, Nyquist LV, Hofmeyer MR, Grunawalt JC, Medell JL, Fry-Welch D: Task-Specific Resistance Training to Improve the Ability of Activities of Daily Living—Impaired Older Adults to Rise from a Bed and from a Chair. *Journal of the American Geriatrics Society*, 49, 1418-1427, 2001.