起立運動を用いた運動負荷法の生理的運動強度

—健康な中高年期の男性と若年男性の比較—

*Physiological Exercise Intensity of an Exercise Load Method Utilizing the Stand-Up Exercise:
a Comparison of Healthy Young and Senior Males*

上村さと美¹⁾ 秋山 純和²⁾

SATOMI KAMIMURA, RPT, PhD¹⁾, SUMIKAZU AKIYAMA, RPT, PhD²⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, International University of Health and Welfare, School of Nursing and Rehabilitation Sciences at Odawara: 1-2-25, Odawara City, Kanagawa 250-8588, Japan. TEL +81 465-21-6724

²⁾ Department of Physical Therapy, School of Science, International University of Health and Welfare

Rigakuryoho Kagaku 26(1): 89-93, 2010. Submitted Jun. 9, 2010. Accepted Sep. 16, 2010.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to clarify the relationship between the stand-up frequency (no. of times/minute) and physiological exercise intensity for senior males. [Subjects and Method] The subjects were 17 men aged between 63 and 69 (Senior group) and for comparison, 31 young men aged between 19 and 24 (Youth group). Subjects performed stand-ups at a frequency which was gradually increased every 3 minutes until they reached the criteria for terminating exercise. Expiratory gas volume, heart rate and blood pressure were measured. For the analysis, after calculating oxygen uptake, relative heart rate and double-product averages for each group at each stand-up frequency, we determined the physiological exercise intensity at each stand-up frequency. [Results] In both groups, oxygen uptake and double-product increased with increasing stand-up frequency, but relative heart rate in the Senior group did not. [Conclusion] We revealed the physiological exercise intensity of the seniors needs to be modified because of an increase in systolic blood pressure in the initial period of exercise.

Key words: stand-up exercise load, physiological exercise intensity, ramped load exercise protocol

要旨: [目的] 健康な中年期から高年期の男性における起立回数(回/分)と生理的運動強度の関係を明らかにすることを目的とした。[対象と方法] 対象は63から69歳の健康男性17名(以下、60歳代群)と、比較する対象として19から24歳の若年男性31名(以下、20歳代群)とした。方法は3分間ごとに起立回数が漸増するプロトコルを設定し、運動終了基準に到達するまで起立運動を負荷した。測定項目は呼気ガス諸量、心拍数、血圧とした。分析は群ごとに各起立回数における酸素摂取量、相対的心拍数、ダブルプロダクトの平均値を算出した後、各起立回数の生理的運動強度を捉えた。[結果] 酸素摂取量、ダブルプロダクトは両群ともに起立回数に追従して増大したが、相対的心拍数は60歳代群では追従しなかった。[結語] 60歳代群は、運動初期に収縮期血圧の上昇により、生理的運動強度を調整することが分かった。

キーワード: 起立運動負荷, 生理的運動強度, 多段階運動負荷プロトコル

¹⁾ 国際医療福祉大学 小田原保健医療学部理学療法学科: 神奈川県小田原市城山1-2-25 (〒250-8588) TEL 0465-21-6724

²⁾ 国際医療福祉大学 保健医療学部理学療法学科

I. 緒 言

起立動作と着座動作の反復を応用した運動負荷（以下、起立運動負荷）は、椅子の準備があれば簡便に行えるため、下肢筋力や心肺機能を評価する方法として応用が試みられている。下肢筋力評価への応用は、指標として達成した起立回数や椅子の高さを設定し、対象者に最大努力や低い椅子からの起立動作を負荷している¹⁻³⁾。心肺機能評価への応用は、指標として生理的運動強度を設定し、起立回数（回/分）や椅子の高さを調整することにより運動強度を可変させ、測定している⁴⁻⁷⁾。心肺機能評価の主な対象者は、起立動作が自立した歩行前の脳血管障害による片麻痺患者（以下、片麻痺患者）や支持物の有無を問わずに立ち上がり動作が自立している高齢者であり、活用が試みられている⁸⁻¹¹⁾。基礎的な検討には、健常学生を対象として椅子の高さまたは起立回数と生理的運動強度の関係や、運動負荷プロトコルが報告されている¹²⁻¹⁴⁾。しかしながら、心肺機能は加齢や運動能力による影響を受けるため、健常学生を対象とした従来の検討を、年代の異なる者に応用する場合には留意が必要であり、健常な中年期から高年期の者（以下、中高年者）を対象とした基礎的な検討も必要と考えられるが、十分に示されていない現状がある。健常な中高年者を対象に起立運動負荷における運動強度を設定する場合は、先行研究において片麻痺患者や高齢者の心血管系反応を誘発するために設定されている起立回数6（回/分）では、十分な運動耐容能を誘発することはできないと推測される^{11,15)}。適切な運動強度として、日常生活では1日に数回、無酸素性代謝閾値に到達する報告がある¹⁶⁾。無酸素性代謝閾値を負荷する運動強度の上限として設定することにより、有用かつ安全な運動負荷を提供できると考えられる。我々の健常学生を対象にした先行研究では、起立回数24から30（回/分）が無酸素性代謝閾値に相当することを報告した¹⁷⁾。加齢に伴い酸素摂取量は低下することから、中高年者では24（回/分）以下が無酸素性代謝閾値に相当すると推察される。しかしながら、無酸素性代謝閾値前後の運動強度は安全な運動強度の範囲内であるが、従来の報告のとおり一段階運動プロトコルを設定すると^{8,10,11)}、中高年者では急な生理反応を誘発する可能性がある。安全に生理反応を誘発するためには、段階的な起立回数の漸増による運動負荷が必要である。

本研究は、起立運動負荷の臨床応用を図るための基礎的な検討として、健常な中高年者における起立運動時の生理反応を、若年男性と比較して明らかにすることを目的とした。

II. 対象と方法

対象は口頭および紙面にて本研究の主旨を説明し同意が得られた健常な63歳から69歳の男性17名（以下、60歳代群：平均年齢 66.1 ± 1.7 歳）と19歳から24歳の若年男性31名（以下、20歳代群：平均年齢 20.1 ± 1.2 歳）とした。60歳代群はシルバー人材センターに所属する条件を満たしている者のうち、同意が得られた者とした。被験者の条件は、運動に影響を及ぼす心血管系や整形外科疾患の診断を受けていない者、疾病を既往していない者とした。また心血管系の診断を受けている者については現在、医師から運動の中止や運動量の制限を受けていない者、服薬管理が十分に行えている者を対象とした。倫理的配慮は、本研究は所属施設における倫理委員会の承認の後に実施した。

測定に伴うリスク管理は、運動前および運動時に区分して設定した。運動前のリスク管理は、①測定前日は十分な睡眠をとる、②測定2時間前からの食事や喫煙の禁止、③測定前に過度の運動を行わない、ように指示した。測定実施の可否は、測定当日の体調などを含む問診、心血管系の評価として血圧、心音の聴診、60歳代群のみ安静時12誘導心電図を記録して判断した。問診の内容は60歳代群においては、①測定当日および測定前1ヶ月以内の体調の確認、②現病歴、既往歴、冠危険因子（高血圧症、肥満症、脂質代謝異常、糖尿病、ストレス、喫煙状況）の有無、③喫煙本数（本/日）と来室直前における喫煙の有無、④家庭血圧、⑤測定前3ヶ月以内の運動状況を確認した。20歳代群においては、①測定当日および1週間以内の体調、②喫煙経験の有無を確認した。運動の実施が可能と判断した被験者には、運動前および運動中の測定を実施した。運動時のリスク管理は運動負荷終了基準として、一般的な運動負荷試験終了基準への到達のほか、発信音に身体の動きが追従できなくなったと検者が判断した場合、被験者から運動の中止の申し出があった場合、他覚所見を認めた場合とした。

運動前の測定項目は各被験者の体格（身長、体重、座高、床から腓骨頭上縁までの距離）と膝伸展筋力を測定した。膝伸展筋力の測定は、被験者を足尖が床から浮く高さの昇降式ベッド上に座らせ、両上肢を前胸部で組む姿勢を指示した。測定の方法は測定肢が膝関節伸展運動時に膝関節屈曲90度で固定されるように測定器（アニマ社製 μ -Tus）のアタッチメントに連結しているベルトを使用して、測定肢の後方に位置するベッドの支柱とその間の距離を調整した。アタッチメントは脛骨前面の内外果の高さを目安に足関節の背屈を妨げない位置に固定した。測定は各肢2回の最大努力下における膝関節伸展運動を指示した。1回の膝関節伸展

時間は3秒間として、各回数間は30秒以上の休憩を挟みながら各肢無作為に測定した。運動前から運動中に生理反応を捉える測定項目として呼気ガス諸量(Cortex社製MetaLyzer3B)、心拍数(簡易心拍計POLAR T31)、血圧を設定した。リスク管理のための測定項目は自覚他覚的所見、旧ボルグスケール、胸部誘導による心電図波形を設定した(日本光電ベッドサイドモニターBSM2401)。呼気ガス諸量と心拍数および心電図、他覚自覚所見については連続的に測定および記録、確認を行った。血圧は各段階終了30秒間に測定を実施した。

起立運動負荷法の環境設定は、椅子の高さと運動時の姿勢を調整した。椅子の高さは各被験者の床から腓骨頭までの距離を設定し、40 cm台の上に各被験者に必要な高さを0.5 cm単位の硬質スポンジを用いて調整した。運動時の姿勢は、20歳代群は上肢の代償を防ぐために前胸部で組む姿勢とした。60歳代群は起立運動時の転倒を防ぐために、被験者の前方に設置された支持物に両手指尖端が軽く触れる姿勢とした。支持物の高さは両大転子の高さを基準に調整した。両群における足部の位置は両肩関節の幅を基準にして各被験者が無理なく起立できる位置になるように、殿部の位置の調整も含めて数回の練習を行い調整させた。運動の進行はテープに測定プロトコルを録音し、その発音にしたがって遂行した。テープに録音した測定プロトコルは窪田¹⁵⁾および潮見¹³⁾によるプロトコルを参考に、安静開始後3分間の座位を保持した後に、メトロノームの発音に合わせて1分間あたり6, 12, 18, 24, 30(回/分)の起立回数を各段階各々3分間設定した。運動は運動終了基準に到達するまで連続的に負荷した。運動終了基準に到達した後は、安静時の血圧および心拍数に戻った時点で測定を終了した。なお、運動時の注意点として座位から立位に姿勢を変換するときは、膝関節をしっかりと伸展するよう事前に指示をした。

分析は、両群ともに全被験者の80%が到達した起立回数を範囲とした。各群において、リスク管理のために設定した項目を除く、酸素摂取量および心拍数、血圧、ダブルプロダクトと起立回数の関係を求めた。酸素摂取量は各被験者において、起立回数ごとに終了する直前30秒間の測定値を平均した。その後、各群の平均値を求めた。心拍数は各起立回数が終了する直前30秒間の値を被験者ごとに平均した後、予測最大心拍数に対する値(以下、相対的心拍数(%HRmax))を算出して、各群の平均値を求めた。ダブルプロダクトは各々の被験者における各起立回数における心拍数の平均値と収縮期血圧の積から求めた。各起立回数における酸素摂取量と心拍数、ダブルプロダクトの変動を各群において一元配置分散分析および到達した起立回数を基準とした多重比較検定により検討した。統計ソフトはSPSS13.0Jを使用し、

表1 60歳代群(n=17)と20歳代群(n=31)の属性

	60歳代群	20歳代群
年齢(歳)	66.1±1.7	20.1±1.2
身長(m)	1.66±0.06	1.72±0.06
体重(kg)	64.3±7.2	63.6±7.9
座高(m)	0.90±0.03	0.93±0.03
椅子高(m)	0.43±0.15	0.43±0.02
下肢筋力(kgf/kg)	0.42±0.1	0.83±0.2
BMI(kg/m ²)	23.4±2.3	21.4±2.1

平均値±SD

危険率の有意水準は5%未満として検討した。

III. 結 果

60歳代群(n=17)と20歳代群(n=31)の属性を表1に示す。各群において属する被験者の80%が到達した起立回数は、60歳代群では起立回数18(回/分)であり、20歳代群は起立回数30(回/分)であった。60歳代群において運動負荷を中止した理由は、すべての被験者においてメトロノームの発音に動作が追従できなくなったことによる。各起立回数と酸素摂取量、相対的心拍数、血圧の関係を表2に示す。酸素摂取量およびダブルプロダクトは起立回数の漸増に伴い、段階的に増加した(p<0.05)。相対的心拍数は20歳代群では起立回数(回/分)に伴い段階的に増加したが、60歳代群では増加を示さなかった(p<0.05)。血圧は20歳代では起立回数に追従したが、60歳代では起立回数6(回/分)まで増加した(p<0.05)。

IV. 考 察

起立動作が自立している健常な中高年者を対象とする場合^{1,2)}、すべての被験者において発音音に起立と着座動作が追従せず運動負荷中止基準に該当したことから、起立回数の設定に目安が必要と考えられる。60歳代群の全被験者の80%が到達した起立回数は18(回/分)であった。Bearらの報告によると¹⁸⁾、健常高齢者に最速の椅子からの起立動作を課すと、平均1.67秒であることが報告されている。着座動作も同様の時間を要すると仮定して1分間あたりの起立動作と着座動作を1セットとして起立回数を換算すると、およそ起立回数18(回/分)に相当する。そのため起立回数18(回/分)がほぼ起立運動負荷における起立回数の上限の目安になると考えられる。60歳代群における起立回数の増加に伴う生理反応は、起立回数18(回/分)に至るまでの酸素摂取量と運動開始初期におけるダブルプロダ

表2 60歳代群 (n=17) と20歳代群 (n=31) における起立回数 (回/分) と酸素摂取量 (ml/min/kg) および相対的心拍数 (%HRmax), 血圧値 (mmHg)

起立回数 (回/分)	酸素摂取量 (ml/min/kg)		相対的心拍数 (%HRmax)		血圧 (mmHg)	
	60歳代群	20歳代群	60歳代群	20歳代群	60歳代群	20歳代群
安静	4.2±0.2*	5.8±0.2*	46.1±1.8	37.7±1.1*	125.0±3.4*/70±2.2	112.0±1.9*/67±1.2*
6	8.7±0.3*	10.3±0.2*	50.9±1.8	41.2±1.1*	123.0±5.0*/67±2.3	116.0±1.1*/66±1.1*
12	12.6±0.2*	14.5±0.3*	58.2±2.0	47.5±1.1*	137.0±6.1 /69±2.8	127.0±69*/69±1.2*
18	15.1±0.3	18.5±0.3*	62.8±1.9	52.6±1.2*	144.0±6.0 /68±2.3	140.0±73*/74±1.5*
24	—	22.7±0.4*	—	58.9±1.4*	—	151.0±2.9*/74±1.3*
30	—	26.6±0.4	—	64.7±1.4	—	162.0±3.1 /78±1.5

平均値±SE *p<0.05

*到達した起立回数 (回/分) を基準とした有意差を示す。

クトの変動は、20歳代と同様であった。運動開始以後の酸素摂取量の変動は、無酸素性代謝閾値以下であれば負荷量に追従して増加することが報告されており¹⁹⁾、我々の先行研究では健常学生では起立回数24から30 (回/分) が無酸素性代謝閾値に相当していた¹⁷⁾。20歳代群においても表2のとおり酸素摂取量の変動が起立回数に追従していたことは、先行研究と同様に起立回数30 (回/分) 以下は無酸素性代謝閾値以下の運動強度と考えられる。60歳代群の酸素摂取量の変動においても20歳代群と同様に起立回数に追従したことは、起立回数18 (回/分) 以下は無酸素性代謝閾値以下の運動強度に相当すると推察される。起立回数18 (回/分) の酸素摂取量が無酸素性代謝閾値以下であることは、日本人の60から69歳の男性を対象にした自転車エルゴメータ法から求めた無酸素性代謝閾値が平均17.5 (ml/min/kg) 以下であることから推察される²⁰⁾。また、相対的心拍数として中等度運動強度は55から69%HRmaxに相当することから²¹⁾、表2の60歳代群の起立回数18 (回/分) における相対的心拍数は、中等度運動強度に該当していると考えられる。すなわち、60歳代群を対象とした起立運動負荷では、起立回数18 (回/分) 以下は無酸素性代謝閾値以下の運動強度と推察され、起立回数に追従した酸素摂取量の増大は妥当と考えられる。

一方、高齢者の起立運動負荷における酸素摂取量を、20歳代群を対象にした報告を応用して検討する場合には、留意が必要である。20歳代群を基準とした高齢者群の加齢に伴う酸素摂取量の減少率は、表2のとおり13.3から18.5 (%) であった。60歳代群の起立回数18 (回/分) の酸素摂取量を代謝当量に変換すると4.3METsであり、20歳代群の起立回数30 (回/分) の酸素摂取量は7.6METsであった。酸素摂取量は10年間でおよそ1METsの減少を示すことから²²⁾、中高年者の酸素摂取量は両群の年代差をほぼ反映していると考えられ、およそ20 (%) 以下の減少率の考慮が必要と思われる。

酸素摂取量に関与して60歳代群における相対的心拍

表3 60歳代群 (n=17) と20歳代群 (n=31) の起立回数 (回/分) とダブルプロダクトの変動

起立回数 (回/分)	60歳代群	20歳代群
安静	8.85±0.40*	8.45±0.29*
6	9.65±0.55*	9.60±0.29*
12	6.52±0.53*	12.1±0.39*
18	13.8±0.72	14.9±0.77*
24	—	17.9±0.62*
30	—	21.1±0.70

平均値±SE p<0.05

*平均値×10³

*到達した起立回数 (回/分) を基準とした有意差を示す。

数は起立回数に追従して増大しなかったにもかかわらず、ダブルプロダクトは増大を示した。ダブルプロダクトは心拍数と収縮期血圧の積であるため、60歳代群では表2、3に示すとおり、運動開始時は収縮期血圧による代償を用いて心ポンプ機能を維持していたと考えられる。岩田らは中高年者に診療所の待合室から診察室までの距離に相当する20歩の踏み込みを負荷したところ、心拍数よりも血圧が反応したことを報告している²³⁾。すなわち60歳代群における運動開始時の生理的運動強度は、20歳代群と異なり、血圧反応が主となることを留意点として挙げられる。

今後の課題として本研究ではシルバー人材センターに在籍し、協力が得られた方を対象とした為、被験者数の拡大が必要である。加えて、起立回数18 (回/分) 以下までの運動強度の調整方法を検討するために、健常な中高年者と片麻痺患者や要介護状態にある高齢者の生理反応を検討していきたい。

謝辞 本研究にご協力を頂きました被験者の皆様に深謝いたします。なお、本研究は財団法人慢性疾患・リハビリテーション研究振興財団の助成により行った。

引用文献

- 1) Jones CJ, Rikli RE, Beam WC: A 30-s chair-stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. *Res Q Exerc Sport*, 1999, **70**(2): 113-119.
- 2) 中谷敏昭, 灘本雅一, 三村寛一・他: 30秒椅子立ち上がりテスト (CS-30テスト) 成績の加齢変化と標準値の作成. *臨床スポーツ医学*, 2003, **20**(3): 349-355.
- 3) 大森圭貢, 横山仁志, 青木詩子・他: 高齢者における等尺性膝伸展筋力と立ち上がり能力の関連. *理学療法学*, 2004, **31**(2): 106-112.
- 4) 岩崎富子, 山田道広, 荻島秀男・他: 脳卒中後遺症による片マヒ患者の諸動作における酸素消費量 (第1報). *臨床理学療法*, 1975, **2**(1): 7-15.
- 5) 大隈秀信, 緒方 甫, 美津島隆・他: 脳卒中片麻痺者に対するAT決定のための運動負荷方法としての反復起立動作の検討. *リハ医学*, 1964, **31**: 165-172.
- 6) 高木秀峰: 症例「片麻痺患者の体力評価, 椅子からの立ち上がりによる漸増負荷方法」. *通信医学*, 1979, **31**(8): 475-481.
- 7) 平上博資, 杉山 尚: 脳卒中片麻痺のリハビリテーションにおけるリスク管理について. *治療*, 1969, **51**(4): 147-154.
- 8) Hirschberg GG, Bard G, Ralston HJ, et al.: Energy cost of stand-up exercise in normal and hemiplegic subjects. *Am J Phys Med*, 1964, **43**: 43-45.
- 9) Kogure A, Isaji T, Matsuda T, et al.: General endurance in hemiplegic patients comparison between health subjects and hemiplegics using the incremental stand-up exercise-load method. *J Med Dent Sci*, 2006, **53**: 35-40.
- 10) 平上博資, 杉山 尚: 脳卒中片麻痺のリハビリテーションにおけるリスク管理について. *治療*, 1969, **51**(4): 147-154.
- 11) 上村さと美, 秋山純和: 介護老人保健施設における起立運動負荷を用いた心肺機能評価—集団運動提供時の心肺機能に関するリスク管理の検討—. *理学療法科学*, 2007, **23**(1): 1-6.
- 12) 丸山仁司, 中山彰博, 梶村由美子: スタンダップテストによる生理的反応—椅子の高さ, 回数の影響について—. *臨床理学療法*, 1983, **10**(5・6): 295-296.
- 13) 潮見泰蔵: 起立動作を応用した新たな運動負荷試験法の開発に関する研究. *杏林医学会雑誌*, 1994, **25**(4): 493-504.
- 14) 松永篤彦, 神内拓行, 重田 暁: 運動療法における負荷強度と心血管反応—立ち上がり動作負荷における反応について—. *理学療法*, 1990, **17**: 79.
- 15) 窪田俊夫, 花川 実, 山口恒弘, 他: 脳血管障害片麻痺の運動負荷テストとその臨床応用について. *総合リハ*, 1981, **9**(10): 811-818.
- 16) 宮原恵子, 緒方 甫, 朝山 滉・他: 脳卒中後片麻痺患者の活動性. *総合リハ*, 1984, **12**(11): 853-857.
- 17) 上村さと美, 秋山純和: 自転車エルゴメータ法により求めた無酸素性代謝閾値と起立運動負荷法の運動強度の関係. *理学療法科学*, 2009, **24**(3): 397-401.
- 18) Baer GD, Ashburn AM: Trunk movements in older subjects during sit-to-stand. *Arch Phys Med Rehabil*, 1995, **76**(9): 844-849.
- 19) Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN, et al.: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol*, 1973, **35**(2): 236-243.
- 20) 安達 仁: CPX・運動療法ハンドブック. 中外医学社, 東京, 2009, pp79-89.
- 21) アメリカスポーツ医学会編: 運動処方の指針 原著第6版. 南江堂, 東京, 2004, p148.
- 22) 丸山仁司: 加齢と体力の変化. *総合リハ*, 1998, **26**(5): 413-418.
- 23) 岩田英信, 井出彩華, 伊与田朋美・他: 20歩の足踏みによる血圧の変動. *血圧*, 2008, **15**(2): 67-72.