

研究報告



健常高齢者における歩行速度グレーディングの出力調整方略*

平井達也¹⁾, 千鳥司浩²⁾, 渡邊紀子¹⁾, 星野雅代²⁾, 上野愛彦¹⁾
井上大輔¹⁾, 原田隆之¹⁾, 梅木将史³⁾, 安藤寿浩³⁾, 下野俊哉⁴⁾

【要 旨】

グレーディングとは、自分の物理的出力強度を主観によって調節し段階付ける能力である。本研究の目的は、健常高齢者における歩行速度グレーディングの出力調整方略が若年成人と異なるかどうかについて検討することである。対象は、本研究の主旨を説明し同意を得た健常若年成人40名(若年群：平均年齢23.6歳)、健常高齢者40名(高齢群：69.2歳)とした。10 m歩行路にて最大歩行速度を100%として主観的に20%, 40%, 60%, 80%で歩行させ、出力した速度(m/s)の100%に対する割合を求め、各目標値との絶対誤差を算出し、さらに重複歩距離、重複歩時間を算出した。結果、両群とも重複歩距離においては各目標値間で有意差が認められたが重複歩時間では有意差が認められなかった。また、両群とも絶対誤差が少ない上位25%を抽出し群別に各目標値間での比較を行った。結果、若年上位群は重複歩距離・重複歩時間とも各目標値間で有意差が認められ、高齢上位群では重複歩距離においてのみ目標値間で有意差が認められた。以上のことから、健常高齢者における歩行速度グレーディングの出力調整方略は若年成人と異なることが示唆された。

キーワード：高齢者，グレーディング能力，出力調整方略

はじめに

歩行はヒトの基本的な日常生活活動のひとつであり、リハビリテーションにおいても重要な獲得すべき動作に位置づけられている。歩行運動の研究は古代ギリシャ時代から行われ、19世紀に入り機械的側面の研究¹⁾が進んで以来、運動学的な観点における研究^{2, 3)}から運動力学的解析へと進み、

関節疾患に対する理学療法に貢献した^{4, 5)}。

神経系の働きを含む歩行制御の側面について、中枢プログラムの中でも特に反射プログラムは中枢性運動パターン発生器(central pattern generator:CPG)の存在がヒトで確認され^{6, 7)}、歩行における神経系の役割についての理解は深まった。一方、森は、「歩行運動は多数の運動分節の動きを、時間的にも空間的にも有機的に調和あるいは整合coordinationすることによって遂行でき、外的・内的な条件の変化とも対応可能である」とした上で、それらの実現には、高次脳機能が必要であると述べている⁸⁾。また、歩行制御のメカニズムは歩行に必要な中枢プログラム、反射プログラムを基盤とし、運動器系の発達に伴い、適応制御系の学習過程を経て成立していく⁹⁾とされている。適応制御系は、小脳および大脳と脊髄との相互作用によって成立し¹⁰⁾、感覚戦略と運動戦略が運動課題や環境の変化に応じて、如何に調整されるかが重要である。このような観点から、理学療法分野においても臨床現場で遂行可能な歩行の調整機能の評価を行う必要があると考えられた。

*The Strategies of Output Control in Gait Speed Grading in the healthy elderly subjects

1) 医療法人田中会西尾病院リハビリテーション科

Department of Rehabilitation, Nishio Hospital

Tatsuya HIRAI, PT Noriko WATANABE, PT

Masayo HOSHINO, PT Naruhiko UENO, PT

Daisuke INOUE, PT Takayuki HARADA, PT

2) 中部学院大学リハビリテーション学部理学療法学科

Chubu Gakuin University

Kazuhiro CHIDORI, PT

3) 介護老人保健施設いづみ

Facility of health care services for the elderly, Izumi

Masashi UMEKI, PT Toshihiro ANDO, PT

4) 星城大学リハビリテーション学部理学療法学専攻

Seijoh University Toshiya SHIMONO, PT

グレーディングとは、自分の物理的出力強度を主観によって調節し段階付ける能力である¹¹⁾とされており、調整機能の評価が可能であると考えられる。理学療法分野においてグレーディングは、運動の協調性評価の中に位置づけられているが^{12,13)}、具体的な測定方法などの記載はされていない。歩行速度グレーディングとは、歩行速度について、最速歩行を基準とし、主観により調節し段階付ける能力であり、歩行の適応制御系に関連する能力であると考えられる。我々は歩行運動におけるグレーディングの評価を行い、歩行速度グレーディング能力は高齢群で若干低下する知見を得ているが¹⁴⁾、歩行速度グレーディングにおける出力方略の検討はされていない。

本研究の目的は、健常高齢者における歩行速度グレーディングの出力調整方略が若年成人と異なるかどうかについて検討することである。

対象と方法

対象は、健常な若年成人40名(若年群: 平均年齢 23.6 ± 3.9 歳)および高齢者40名(高齢群: 69.2 ± 6.4 歳、神経学的疾患、運動器の著明な変形・疼痛、および心疾患を有さず、改訂版長谷川式簡易知能評価スケール25点以上)とし、両群とも男女各20名とした。対象の身体的特性を表1に示す。

表1 対象の身体的特性

	若年群(40名)	高齢群(40名)
年齢(歳)	23.6 ± 3.9	69.2 ± 6.4
身長(cm)	164.6 ± 8.3	156.5 ± 8.6
体重(kg)	56.6 ± 8.5	56.0 ± 9.9
平均値±標準偏差		

歩行速度グレーディングの測定は、前後3 mの補助路を付加した10 m歩行路にて100%(最大速度)で歩いた後、100%を基準として本人の主観により20%、40%、60%、80%の速さで歩くよう指示した。その際、目標速度間の順序効果によるバイアスを考慮し、A(100%→40%→80%→20%→60%)もしくはB(100%→60%→20%→80%→40%)の2パターンをA-B-AもしくはB-A-Bに組み合わせ、対象者毎に不規則に選択し、各目標値に対する主観的速度で3回ずつ歩行し、合計15試行を行った。試行毎に自分がイメージしたように歩けたかどうか口頭にて質問し、対象者が失敗した(速く歩きすぎたもしくは遅く歩きすぎた)と申告した場合は、再度測定を行なった。測定は10 m間において、第1検者がストップウォッチにて時間を計測し、第2

検者が歩数を計測した。得られた時間と歩数から10 mにおける平均速度(m/s)、平均重複歩距離(m)および平均重複歩時間(sec)を算出し、さらに3回の平均値を算出した。また、最大歩行速度に対する主観的な歩行速度の割合(例: 目標20%に対する主観的速度/最大歩行速度×100)をグレーディング値(%)とし、目標値との絶対誤差(|目標値-グレーディング値|)を求めた。データ解析は、1) グレーディング値の絶対誤差(以下、絶対誤差)の若年群と高齢群の比較を目標値毎にt検定を行い、2) 年齢別に重複歩距離(m)、重複歩時間(sec)の目標値間の比較を一元配置分散分析にて行い、post hoc testとしてScheffe法を用いた。また3) グレーディング能力上位群による検討として、若年群、高齢群の各々の目標値20%における絶対誤差の四分位から絶対誤差が少ない上位25%を抽出し、2)と同様の検討を行った。四分位による分類後、抽出された上位25%を、それぞれ若年上位群(10名: 23.0 ± 3.2 歳)、高齢上位群(10名: 67.4 ± 6.6 歳)とした。上位群の身体的特性を表2に示す。いずれの検定も有意水準を5%未満とした。

表2 四分位による分類後の上位群の身体的特性

	若年上位群(10名)	高齢上位群(10名)
年齢(歳)	23.0 ± 3.2	67.4 ± 6.6
身長(cm)	168.4 ± 7.5	160.5 ± 8.0
体重(kg)	61.6 ± 8.8	61.9 ± 13.5
平均値±標準偏差		

結果

1) 絶対誤差(%)の若年群と高齢群の比較において、20% ($t(78)=3.282, p<0.01$)と80% ($t(50.7)=2.091, p<0.05$)で若年群の方が高齢群より有意に低値であった。両群ともに遅い目標値で誤差が大きく、速い目標値になるに従い誤差が小さくなる傾向にあった(表3)。

表3 グレーディング値の絶対誤差

	若年群(40名)	高齢群(40名)
20%	32.1 ± 13.0	$41.7 \pm 12.9^{**}$
40%	22.8 ± 9.5	24.8 ± 11.5
60%	15.4 ± 7.2	18.0 ± 10.2
80%	7.7 ± 3.3	$10.7 \pm 8.4^{*}$
平均値±標準偏差, *: $p<0.05$, **: $p<0.01$		

2) 年齢別による群内での目標値間比較: 重複歩距離は、若年群では分散分析で目標値の有意な効果が認められた($F(4,195)=2.418, p<0.01$)。

多重比較の結果、20-60%, 20-80%, 20-100%, 40-80%, 40-100%, 60-100%間で有意差が認められた(表4)．高齢群でも分散分析により目標値の有意な効果が認められた($F(4,195)=2.418$, $p<0.01$)．多重比較では、20-60%, 20-80%, 20-100%, 40-100%, 60-100%, 80-100%間で有意差が認められた．重複歩時間は、分散分析において若年群($F(4,195)=2.291$, n.s), 高齢群($F(4,195)=1.117$, n.s)ともに目標値の有意な効果は認められなかった(表5)．

表4 重複歩距離(m)

	若年群(40名)	高齢群(40名)
20%	1.3 ± 0.2	1.2 ± 0.2
40%	1.4 ± 0.2	1.2 ± 0.2
60%	1.5 ± 0.1	1.3 ± 0.2
80%	1.6 ± 0.1	1.3 ± 0.2
100%	1.7 ± 0.2	1.5 ± 0.2

平均値±標準偏差 * : $p<0.05$, ** : $p<0.01$

表5 重複歩時間(sec)

	若年群(40名)	高齢群(40名)
20%	0.7 ± 0.5	0.7 ± 0.5
40%	0.6 ± 0.4	0.6 ± 0.4
60%	0.6 ± 0.4	0.6 ± 0.4
80%	0.5 ± 0.3	0.6 ± 0.4
100%	0.5 ± 0.3	0.5 ± 0.3

平均値±標準偏差

3) グレーディング能力上位群による検討：重複歩距離について(表6)，若年上位群の分散分析の結果、目標値に有意な効果が認められた($F(4,45)=18.479$, $p<0.01$)．多重比較の結果、20-60%, 20-80%, 20-100%, 40-80%, 40-100%, 60-100%間で有意差が認められた．高齢群の上位群においても目標値に有意な効果が認められた($F(4,50)=15.290$, $p<0.01$)．多重比較の結果、20-60%, 20-80%, 20-100%, 40-100%, 60-100%間で有意差が認められた．重複歩時間について(表7)，若年上位群では分散分析の結果、目標値に有意な効果が認められた($F(4,45)=17.049$, $p<0.01$)．多重比較の結果、20-60%, 20-80%, 20-100%, 40-80%, 40-100%, 60-100%間で有意差が認められた．高齢上位群においては目標値の有意な効果は認められなかった($F(4,50)=0.631$, n.s)．

表6 四分位による分類後の重複歩距離(m)

	若年上位群(10名)	高齢上位群(10名)
20%	1.2 ± 0.2	1.1 ± 0.1
40%	1.4 ± 0.2	1.2 ± 0.1
60%	1.5 ± 0.2	1.3 ± 0.1
80%	1.6 ± 0.1	1.4 ± 0.2
100%	1.8 ± 0.2	1.6 ± 0.2

平均値±標準偏差 * : $p<0.05$, ** : $p<0.01$

表7 四分位による分類後の重複歩時間(sec)

	若年上位群(10名)	高齢上位群(10名)
20%	1.2 ± 0.2	1.0 ± 0.6
40%	1.1 ± 0.2	0.8 ± 0.5
60%	0.9 ± 0.1	0.8 ± 0.5
80%	0.9 ± 0.1	0.7 ± 0.4
100%	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.4

平均値±標準偏差 * : $p<0.05$, ** : $p<0.01$

考察

我々の歩行速度グレーディングに関する先行研究の結果、目標値20%の絶対誤差のみ若年群と高齢群に有意差が見られグレーディング能力自体には顕著な差は見られないことを報告した¹⁴⁾．しかし、両群は年齢が大きく異なるため潜在的な運動機能の差が存在すると考えられ、調整方略に差異が生じるのではないかという仮説のもとに、本研究を行なった．その結果、出力調整方略は若年群、高齢群ともに、重複歩距離において各目標値間で有意差を認めたが、重複歩時間については目標値間に有意差は認められなかった．このことから、年齢に関係なく健常者では主に空間パラメータを調整しており、両群間に出力調整方略の差異がないことが示唆された．しかし、今回の対象者において群全体でみた場合、グレーディング能力に高低が存在しているため、速度の調節に関わる方略を適切に検討することにはならないと考えられた．したがって、加齢によるグレーディング方略の違いを明確にするためには、各群でグレーディングが適切に出来た者を抽出し比較を行う必要があると考えられた．そこで本研究では、目標値20%の速度における絶対誤差の四分位を使用し、各群において誤差が少ない上位25%を抽出し若年、高齢群別に比較した．目標値20%は他の目標値と比較し絶対誤差が最も大きいことから難易度が最も高い目標値であり、また、個人間のグレーディング能力の格差が大きいため、グレーディング能力の上位を抽出するのに妥当性があると考えられた．

結果、若年上位群では空間パラメータと時間パラメータの両方で調節し、高齢上位群では主に空間パラメータを調節しており、上位群においては年齢による違いが認められた。以上のことから、健康高齢者における歩行速度グレーディングの調整方略は、若年成人のものより難易度の低い方略であることが示唆された。この理由として、運動調節の方略の難易度と調整の効率の側面から考えると、若年上位群はすべてのパラメータを同時に調整するという比較的難易度が高い調整をしているが、並列的に行なうことで効率よく調整できていると考えられた。高齢上位群では効率は劣るものの、調整するパラメータを一つにして難易度を下げ、それによって、歩行の安定性を保障するための方略を選択していると考えられた。Murrayら²⁾は、20代～80代の各年齢群で速い歩行と普通の歩行を観察し、高齢群では重複歩距離に差がなく、重複歩時間に差があること、若年群では両パラメータに差があるとし、我々の結果とは異なっていた。この理由として、グレーディングという課題は単純に速度を調整するだけの課題ではなく基準からの段階付けであるため、そのような課題の違いによる処理過程の違いが結果に影響していると考えられた。

ヒトの歩行運動は、多数の筋が時間的、空間的に協調した活動により行なわれている。歩行の客観的観察としてしばしば筋活動量が注目されるが、歩行中の下肢の筋活動量は最大随意収縮の20%以下^{15, 16)}と非常に低いことを考えると、廃用による筋萎縮が著しい例を除くと筋力そのものよりもむしろ協調性や適応性がより重要な視点になると考えられる。適応制御系に関する先行研究については歩行中の外的外乱に対する適応的応答を観察した報告^{17) - 19)}が多いが、たとえば隙間のすり抜けなど日常的な歩行場面にみられる、「それ自体は変動しない静的な環境」に対して適応していく過程の観察は少ない²⁰⁾。歩行速度グレーディングの制御は、自らの運動による外的な環境の変化をオブティカル・フロー²¹⁾として知覚し、さらに、筋感覚のフィードバックを受け、事前に自己のイメージした結果と参照比較しながら速度調節を行なっていることが想定され、環境との相互作用における適応制御系の一つであると考えられる。また、日常の活動では、運動行為を意図しそれに対して筋活動や関節運動が行なわれ、ある結果が生じる。グレーディングは自ら行なおうとする「つむりの運動」と「実際の運動」との差異を明らかにするものであり、意図と結果のズレを評価することにつながる。

理学療法分野における運動制御能力の評価は、臨床で簡便に使用できるものはあまり見られず、一般には重心動揺計など高価な機器を用いて行われる。一般病院においては、このような機器は殆ど所有されていないと考えられ、定性的な評価に依存されてきたと思われる。グレーディングは安価で比較的簡便に行うことが可能である点と、本研究の結果を踏まえると臨床での使用可能性があることが示唆される。しかし、その意義については、理学療法分野において十分に実証されているとは言い難い。今後さらに運動機能が低下していると考えられる者、例えば、躓きや転倒の頻度が高い者などを対象とし、グレーディング能力やその出力方略について検討し、グレーディング測定の意義について吟味する必要があると考えられる。また、疼痛や知覚障害など運動制御に影響を与える要因との関係や、グレーディング制御のメカニズムについて様々な観点から検討していく必要があると考えられる。

まとめ

歩行速度グレーディングにおける出力調整方略(重複歩距離と重複歩時間)について、健康な若年者、高齢者で比較を行った。結果、歩行速度グレーディングにおける出力調整方略は、全体での比較では若年群、高齢群に著明な差異は認められなかったが、グレーディング能力の上位群で比較したところ、年齢による方略の違いが認められ、健康高齢者における歩行速度グレーディングの出力調整方略は若年成人と異なることが示唆された。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご協力くださいました西尾病院院長田中正規先生、リハビリテーション科スタッフおよびボランティアで参加いただいた対象者の皆様に深謝いたします。

【文 献】

- 1) 中村隆一, 齋藤 宏: 歩行. 基礎運動学第5版, 医歯薬出版, 2000, pp 333.
- 2) Murray MP, Kory RC: A comparison of free and fast speed walking patterns of normal man. Am J Phys Med 45: 8-24, 1966.
- 3) Oberg T, Karsznia A, et al.: Basic gait parameters: Reference data for normal subjects, 10-79 years of age. J Rehabil Res Develop 30: 201-223, 1993.
- 4) Neumann DA: Hip abductor muscle activity as

- subjects with hip prosthesis walk with different methods of using a cane. *Phys Ther* 78 : 490-501, 1998.
- 5) Neumann DA : An electromyographic study of the hip abductor muscles as subjects with a hip prosthesis walked with different methods of using a cane and carrying a load. *Phys Ther* 79 : 1163-1173, 1999.
- 6) Dietz V, Colombo G, et al. : Locomotor activity in spinal man. *Lancet* 344 (8932) : 1260-1263, 1994.
- 7) Dimitrijevic MR, Gerasimenko Y, et al. : Evidence for a spinal central pattern generator in humans. *Ann NY Acad Sci.* 860 : 360-376, 1998.
- 8) 森茂美：運動制御機序のシステム生理学的解析。脳科学とリハビリテーション5 : 1-6, 2005.
- 9) 窪田俊夫：歩行障害概説。歩行障害の診断・評価入門，医歯薬出版，1997，pp3.
- 10) 柳原大：Closed loop としての小脳・脳幹・脊髄系と歩行運動の適応制御。体育の科学56(1) : 28-31, 2006.
- 11) 大築立志：主観による物理的出力の制御特性一つもりと実際の対応関係一。バイオメカニズム研究9(3) : 149-160, 2005.
- 12) 沖田一彦：協調性障害。島田智明編，理学療法評価，メディカルプレス，1997，pp84-90.
- 13) 内山靖：協調性障害。細田多穂・柳澤健編，理学療法ハンドブック第1巻理学療法の基礎と評価，協同医書出版社，2002，pp559-591.
- 14) 平井達也，千鳥司浩・他：高齢者に対する歩行速度グレーディング能力の評価。理学療法科学23(6) : 711-715, 2008.
- 15) 伊東元，田中繁・他：筋活動からみた膝関節機能評価。リハ医学19 : 159-164, 1982.
- 16) 沢井史穂，実松寛之・他：日常生活動作における身体各部位の筋活動水準の評価。体力科学53 : 93-106, 2004.
- 17) Tang PF, Woollacott MH, et al. : Control of reactive balance adjustments in perturbed human walking: roles of proximal and distal postural muscle activity. *Exp Brain Res* 119 (2) : 141-152, 1998.
- 18) Ferber R, Osternig LR, et al. : Reactive balance adjustments to unexpected perturbations during human walking. *Gait Posture* 16 (3) : 238-248, 2002.
- 19) 加藤仁志，大淵修一・他：転倒耐容能力の違いによる姿勢制御反応の変化一地域在住中高年者を対象とした検討一。北里理学療法学6 : 161-164, 2003.
- 20) Higuchi T, Clinelli ME, et al. : Locomotion through apertures when wider space for locomotion is necessary: adaptation to artificially altered bodily states. *Exp Brain Res* 175 (1) : 50-59, 2006.
- 21) Stoffregen TA, Schmuckler MA, et al. : Use of central and peripheral optical flow in stance and locomotion young walkers. *Perception* 16 : 113-119, 1987.