

高齢者の下肢敏捷性向上のための 自転車運動を用いたトレーニングの開発

越智 亮^{*1}, 高石鉄雄^{*2}, 下野俊哉^{*1}

^{*1} 理学療法学専攻, ^{*2} 名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科

研究プロジェクト名

高齢者を対象とした下肢敏捷性改善のための高回転ペダリング運動の効果に関する研究

要旨

高齢者における転倒予防には、下肢の敏捷性を向上させることが重要な因子の一つである。本研究では、高齢者に対し、固定式自転車を用いた軽負荷スプリントトレーニングを実施させ、下肢敏捷性にどのような影響を与えるかを検討した。軽負荷スプリントトレーニングは、高齢者の下肢敏捷性を向上させるのに有用なトレーニングであることが明らかとなった。

Key Words : 高齢者, 敏捷性, 自転車運動

【はじめに】

我々は、多くの場合つまずきが生じた後、下肢を大きく踏み出すことによって転倒を回避することが可能である。しかし、高齢者では、ふらついた、あるいはつまずいた後に実際の転倒へと発展してしまうケースも多くある。つまずくことが実際の転倒に発展する原因として、高齢者と若年者との間には転倒開始（つまずき）から足を一步前に踏み出して転倒を防止するまでの反応に違いがあることが報告されている¹⁾。Thelen ら²⁾は、背部を牽引した状態で身体を前傾させておき、牽引が離れた瞬間から下肢を一步前に踏み出すステップの反応時間を測定し、転倒開始からステップを開始するまでの反応時間には若年者と高齢者で差はないが、踏み出し開始から接地までの時間は、高齢者が有意に遅いと報告した。このことは、高齢者がつまずきから転倒にいたる過程には、下肢を素早く踏み出す能力の低下が深く関わっていることを表している。

高齢者の日常生活における身体活動について考えた場合、たとえ運動習慣を持つ者であっても、その内容はウォーキング、体操、水泳、ゲートボール、ゴルフなどが主であり、

つまずきからの転倒防止に必要となる素早い足の踏み出し動作に匹敵する動作，あるいはそのような動作速度を含む運動実施は皆無に等しい．このような比較的速度の遅い動作しか含まない生活を長期にわたって続けることは筋萎縮のみならず，中枢から筋への興奮伝達および筋群相互の協調性低下など，神経筋機能の低下を引き起こす可能性がある．

これまでに，高齢者に対して下肢の運動を負荷し，脚筋力あるいは脚パワーを向上させるための試みは数多く認められるが，その多くはいずれもパワーに重点を置いたものであり³⁾，その運動内容を継続するにはかなりの努力が必要とされる．我々は，つまずきによる転倒を防止するには，つまずき直後の姿勢の崩れが大きくなる前に足を踏み出すことが何より重要であり，それに関わる要素は下肢の最大筋力や最大パワーではなくスピードであると考えている．従って，本研究では足の踏み出しに関わる“スピード”を低下させないことに重点を置き，日常的に速いペダル回転数の運動を負荷することが高齢者の敏捷性や筋群相互の協調性を維持あるいは改善することにつながるとの仮説を検証するべく，以下の内容について検討する．

本研究の目的は，高齢者に低負荷（ペダルを踏み込む際の抵抗が小さい）高ペダル回転（ペダルをこぐ早さが速い）の自転車運動（以下，軽負荷スプリントトレーニング）を行わせることが，高齢者の素早い足の踏み出し動作を引き出すことにつながるかどうかを検証することである．

【方法】

1. 対象者

65歳以上の高齢者23名（男性10名，女性13名，年齢 70.4 ± 3.5 歳，範囲65～75歳，体重 57.8 ± 8.0 kg，範囲49～71kg）を対象とした．全ての被験者は日常生活活動が自立しており，自転車をこぐことに支障となる下肢の整形外科的，神経学的既往のない者とした．除外基準は，高血圧症， β ブロッカー使用，糖尿病，その他代謝性か内分泌系の障害を持つ者とした．本実験は星城大学倫理委員会の承認を得た．全ての被験者から書面にてインフォームドコンセントを得た．被験者をトレーニングを行う群（以下，トレーニング群）12名とトレーニングを行わない群（以下，コントロール群）11名に男女比を揃えて無作為に分けた．

2. トレーニングプロトコル

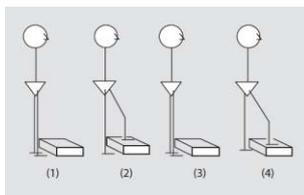
軽負荷スプリントトレーニングは，被験者の体重の1%（範囲0.4～0.7kp）をペダル負荷とする最大速度による5秒間のペダリングであり，被験者は，各ペダリングの間に25秒間の休息をおきながら同運動を1日に10セット実施した，実施頻度は週に2日，トレーニング実施日は全部で10日（5週間）であった．なお，トレーニングには，電磁ブレーキ式自転車エルゴメーター（COMBI社製Power Max V）を用い，ペダリング肢位は同様とした．トレーニング群はトレーニングを行う前，および5週間のトレーニング後におい

て後述の下肢機能テストを行った。

コントロール群には、5週間の実験介入期間において簡単なストレッチ運動を行わせ、筋力トレーニング、および自転車を使用した運動は禁止した。5週間の実験介入期間前後に後述の下肢機能テストを行った。

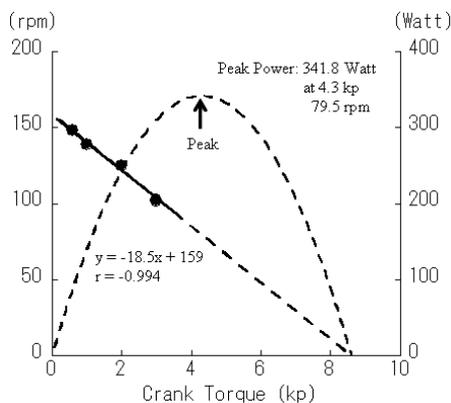
3. 下肢機能テスト

- 最大等尺性膝伸展筋力：ハンドヘルドダイナモメーター（ μ Tas F-1；ANIMA社製）を使用し、右下肢の最大等尺性膝伸展筋力を計測した。測定肢位は体幹を垂直にし、大腿部をベルト固定し、股関節、膝関節、足関節は全て屈曲90°とした。被験者に可能な限り強く膝伸展運動を行うことを要求した。膝伸展最大随意収縮は3回計測し、3回のうちの最大値を成績とした。
- 歩行時間と下肢敏捷性：10m歩行時間、TUG（Time Up and Go test：椅子から起立し、3m先の目標でターンして再び元の椅子に座る）、下肢の敏捷性としてTST（Ten Step Test）⁴⁾（図1）と立位前後移動運動（平面上で前方に設置された線を下肢でまたぎ、前方、後方に素早く移動する反復運動の10回分）の時間をストップウォッチで計測した。
- 最大ペダル回転数とピークパワー：ピークパワーの計測はTakaishiら⁵⁾の方法を参考にした。各被験者に体重の1%、1.0kp、2.0kp、3.0kpの4つのクランク抵抗で最大速度によるペダリングを行わせ、その間に得られた最大ペダル回転数を記録した。得られたクランク抵抗とペダル回転数から回帰直線を算出し、クランク抵抗とパワーとの関係から、ピークパワーを得た（図2）。



10cm高の台の側面に足先が触れるように立ち(1)、一側下肢を膝上に踵まで上げる(2)、そして下す(3)、次に反対側を上げる(4)、そして下ろす(1)。2回目以降は足先を台に触れる必要はない。一側の上げ下ろしを1回とし、連続10回の所要時間を測定する(文献⁴⁾より図表引用)。

図1. TST (Ten Step Test) の測定方法



$$y = ax + b \text{ において Peak Power (Watt) } = \frac{b}{2a}(\text{kp}) \times \frac{b}{2}(\text{rpm})$$

被験者1例のデータ(72歳男性)を基に示す。x軸をペダル負荷(kp)、y軸をペダル回転数(rpm)、y2軸をパワー(Watt)とする。体重の1%kp、1.0kp、2.0kp、3.0kpのペダル負荷で得られる最大ペダル回転数から回帰直線を求める。回帰直線に対し、原点の強制通過を行わせることで、上記計算式から仮想のパワーカーブが得られ、その極大値がピークパワーとなる。

図2. 無酸素性下肢ピークパワーの算出

表 1. 介入期間前におけるトレーニング群とコントロール群のベースラインデータ

			mean ± SD	
	トレーニング群	コントロール群	t value	p value
男女比(女性/被験者数)	7/12	6/11	—	—
年齢(歳)	70.5±3.3	70.4±3.7	0.092	n.s
体重(kg)	58.5±9.0	57.1±7.2	0.413	n.s
膝伸展筋力(kg)	31.6±8.8	33.8±11.2	-0.505	n.s
10m歩行時間(秒)	6.1±1.2	6.3±1.7	-0.404	n.s
TUG(秒)	7.8±1.8	7.9±1.5	-0.072	n.s
TST(秒)	8.3±1.7	8.4±1.8	-0.048	n.s
立位前後移動運動(秒)	14.6±1.8	14.1±2.0	0.521	n.s
最大ペダル回転数(rpm)	142.1±16.6	142.4±13.0	-0.045	n.s
ピークパワー(Watt)	332.3±64.7	319.2±69.2	0.467	n.s

n.s=not significant

4. 統計処理

介入期間前のトレーニング群とコントロール群の年齢、体重、および下肢機能のベースラインの比較には対応のない t 検定を用いた。下肢機能のトレーニング群とコントロール群における介入期間前後の比較には対応のある t 検定を用いた。全て、統計学的有意水準は $p<0.05$ とした。

【結果】

まず始めに、介入前のトレーニング群とコントロール群のベースラインの比較を表 1 に示す。全ての項目において、トレーニング群とコントロール群に有意な差はなかった。

トレーニング群とコントロール群の介入期間前後における下肢機能テストの結果を表 2 に示す。トレーニング群において、トレーニング後に TUG ($t=2.57$, $p<0.05$), TST ($t=2.76$, $p<0.05$) の時間が有意に短縮し、最大ペダル回転数 ($t=-9.28$, $p<0.01$), ピークパワー ($t=-5.40$, $p<0.01$) が増大した。最大膝伸展筋力、10m 歩行時間は変化しなかった。一方、コントロール群においては全ての項目について変化はみられなかった。

【考察】

高齢者に対し固定式自転車を用いて下肢筋力の向上に焦点をあてた研究は、これまでにいくつか認められ、最大努力下でスピードトレーニングを行った研究もみられる。Macaluso ら⁶⁾は、高齢者に対し、自転車エルゴメーターを用いた低速あるいは高速トレーニングを実施した後、最大膝伸展筋力や最大パワー、ステップテストなどの下肢神経筋機能テストを行った結果、低速グループと高速グループの間に明確な差はなかったことを報告している。しかし、この研究では、高速グループであってもクランク抵抗が 2RM の 40%

表 2. 介入期間前後における両群の下肢機能データ

				mean ± SI	
		pre-	post-	t value	p value
膝伸展筋力(kg)	train	31.6±8.8	32.8±9.1	-1.196	n.s
	cont	33.8±11.2	32.7±9.3	1.21	n.s
10m歩行時間(秒)	train	6.1±1.2	5.7±0.9	1.855	n.s
	cont	6.3±1.7	6.5±1.7	-1.929	n.s
TUG(秒)	train	7.8±1.8	7.2±1.4	2.57	*
	cont	7.9±1.5	8.2±1.2	-1.467	n.s
TST(秒)	train	8.4±1.7	7.6±1.3	2.76	*
	cont	8.4±1.8	8.4±1.6	-0.11	n.s
立位前後移動運動(秒)	train	14.6±1.8	13.2±1.5	5.146	**
	cont	14.1±2.0	13.7±1.9	1.541	n.s
最大クランク回転数rpm)	train	142.1±16.6	156.3±19.1	-9.279	**
	cont	142.4±13.0	141.5±15.1	0.575	n.s
ピークパワー(Watt)	train	332.3±64.7	427.2±106.8	-5.404	**
	cont	319.2±69.3	306.5±64.5	1.431	n.s

train=トレーニング群 cont=コントロール群 pre=介入期間前 post=介入期間後 n.s=not significant *=p<0.05 **=p<0.01

という高い負荷で、できる限り速くペダルをこぐというプログラムを適用していた。ペダルを素早く回すには、クランク抵抗を軽く設定する必要がある、スピードに関わる適応を引き出すためには、運動の速さを筋収縮の最大速度により近くしなければならない。そこで、本研究における軽負荷スプリントトレーニングでは、ペダル回転数を増大させるためにペダル踏力を軽くし、ペダル回転数を最大発揮する運動を行うことに焦点をあてた。

本研究の結果から、5週間の軽負荷スプリントトレーニングによって、高齢者の下肢機能、特に敏捷性を向上させることが明らかとなった。敏捷性という身体能力は、動作開始の素早さと動作切り替えの素早さ、そして筋の短縮速度を加えた3要素で構成される⁴⁾。本研究課題で取り上げた軽負荷スプリントトレーニングは、上記の3要素を含めたトレーニングであったと考えられ、TSTなどの下肢を素早く踏み変える能力を向上させた。

TSTや立位前後移動運動は、運動方略からみても下肢の素早い切り替え運動に最も直結するものであり、これらの運動機能の改善は自転車運動における最大ペダル回転数と関連するものと推察される。Rogersら⁷⁾は、3週間6回のトレーニングでステップ速度が有意に向上することを報告している。また、Shimadaら⁸⁾は、左右ベルトが独立したトレッドミル歩行トレーニングを、高齢者を対象に6ヵ月間行い、ステップ反応速度が有意に向上したことを報告している。この2つのトレーニングに共通している点は、筋力よりも下肢を踏み変える動作に焦点を当てていることであり、本研究で用いた軽負荷スプリントトレ

ーニングと運動形態は異なるものの、目的は矛盾しない。従って、高齢者に対する下肢踏み替えの敏捷性向上には、必ずしも負荷強度の高い運動である必要はないと考えられる。本研究において膝伸展筋力がトレーニング後に変化がなかったにも関わらず、力と速度を掛け合わせたピークパワーが増大したことも、前述の推察を支持している。

TUG は時間が減少したが、10m 歩行速度はトレーニング後に変化がなかった。この原因としては、両者のテスト成績を向上させる要因が異なることから生じたと考えられる。高齢者の歩行速度に影響を与える因子として、ピッチよりもストライド長の関与が大きい。本研究の軽負荷スプリントトレーニングは、下肢を素早く踏み変える能力、すなわちピッチに主眼を置いたものであり、歩行速度を向上させるに至らなかったと考えられる。一方、TUG は歩行能力のみならず、椅子からの立ち上がり、回転動作を含む複合的な移動機能を反映する。Kouta ら⁹⁾は、高齢者の TUG における椅子からの立ち上がり動作について、TUG の所要時間が短いものほど、重心が十分に安定しない状況から下肢の踏み出しを行えることを確認している。本研究の結果では、10m 歩行速度に変化がなく、TUG が素早くなっていることから、起立から歩行開始への切り替えになんらかの変化があったことが推察される。重心の積極的な移動と下肢ステップの素早さを考慮すると、本研究課題の立位前後移動運動と整合性の取れた結果といえるかもしれない。

高齢者に対する軽負荷スプリントトレーニングは、下肢敏捷性を高めることのできる一つの有用な訓練法として推奨することができると思われる。しかし、下肢を踏み変える動作はトレーニング後に素早くなることが伺えたものの、転倒時に生じるステップ反応と直接的に結び付くかどうかは言及することはできない。今後は、TST や立位前後移動運動で認められる下肢敏捷性機能の向上が、実際の転倒場面でみられるステップ動作にどのような貢献をするのか明らかにしていく必要がある。

【文献】

1. Maki BE, McIlroy WM: Control of rapid limb movements for balance recovery: age-related changes and implications for fall prevention. *Age Ageing* 35: 12-18, 2006.
2. Thelen DG, Wojcik LA, et al.: Age differences in using a rapid step to regain balance during a forward fall. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 52: 8-13, 1997.
3. Hortobagyi T, Tunnel D, et al.: Low- or high- intensity strength training partially restores impaired quadriceps force accuracy and steadiness in aged adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 56: 38-47, 2001.
4. Miyamoto K, Takebayashi H, et al.: A new simple performance test focused on agility in elderly people: the ten step test. *Gerontology* 54: 365-372, 2008.
5. Takaishi T, Yamamoto T, et al.: Neuromuscular, metabolic, and kinetic adaptations for skilled pedaling performance in cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 30: 442-449, 1998.
6. Macaluso A, Young A, et al.: Cycling as a novel approach to resistance training increases muscle strength, power, and selected functional abilities in healthy older women. *J Appl Physiol* 95: 2544-2553, 2003.
7. Rogers MW, Johnson ME, et al.: Step training improves the speed of voluntary step initiation in aging. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 58: 46-51, 2003.
8. Shimada H, Obuchi S, et al.: New intervention program for preventing falls among frail elderly people: the effects of perturbed walking exercise using a bilateral separated treadmill. *Am J Phys Med Rehabil* 83: 493-499, 2004.
9. Kouta M, Shinkoda K, et al.: Biomechanical analysis of the sit-to-walk series of motions frequently observed in daily living: effects of motion speed on elderly persons. *J Phys Ther Sci* 19: 267-271, 2007.