

高齢者を対象とした6週間のカーフレイズエクササイズの影響 介入が足関節底屈機能及び歩行能力に与える影響

高瀬幸一¹⁾³⁾・田口正公²⁾・柿本真弓²⁾・田原亮二²⁾

Influence of Six Weeks Calf-raising Exercise Intervention in Ankle Plantar Flexion Function and Walking Performance of Older Adults

Koichi Takase¹⁾³⁾・Masahiro Taguchi²⁾

Mayumi Kakimoto²⁾・Ryoji Tahara²⁾

要 旨

本研究の目的は、高齢者を対象に6週間のカーフレイズエクササイズの介入が足関節底屈時のelectromechanical delay (EMD), 筋出力, 歩行能力に及ぼす影響について検討することである。被験者は、本研究に対するインフォームド・コンセントを行い賛同を得た健康な女性高齢者25名(平均年齢75.2±5.6歳)を対象とした。カーフレイズエクササイズの介入期間は6週間とし、1日当たり5セット、週3回実施した。足関節底屈のEMD, 筋出力の測定は筋力測定装置(KinCom500H)を使用し伸張性筋活動時の条件下において行った。歩行能力は、側方より2次元撮影により5mの区間の測定を行った。主な結果として、介入後におけるEMD, 総反応時間, ピークトルク値は、介入前の値より有意に向上していた(EMD: pre 69.9±10.5msec, post 63.1±7.1msec; total reaction time: pre 300.1±56.7msec, post 264.8±38.2msec; peak torque value: pre 50.0±18.9 Nm, post 62.9±12.2 Nm)。しかしながら、歩行能力(ストライド, ピッチ, 最大歩行速度, 普通歩行速度)に介入前と介入後では有意な変化は見られなかった。これらの結果から、カーフレイズエクササイズは下腿三頭筋の機能の改善には効果的であることが示唆された。しかし、歩行能力に効果がなかったことに関しては、おそらく膝関節と股関節の機能で抑制が生じた可能性が推測される。

キーワード : 高齢者, 足関節底屈, カーフレイズエクササイズ, Electromechanical delay, 歩行能力

Abstract

Ankle plantar flexion is important in the two phases of mid and terminal stances in walking. However, this function is thought to decrease with aging. The purpose of this study was to investigate the effect that calf-raising exercise intervention had on older adults in electromechanical delay (EMD), muscle strength of ankle plantar flexion and walking performances. A group of 25 healthy older women participants (mean age: 75.2±5.6years) were informed

¹⁾ 名桜大学人間健康学部 905-8585 沖縄県名護市為又1220-1 Faculty of Human Health Sciences, Meio University, 1220-1, Bimata, Nago, Okinawa 905-8585, Japan

²⁾ 福岡大学スポーツ科学部 814-0014 福岡県福岡市城南区七隈8-19-1 Faculty of Sports and Human Health Science, Fukuoka University, 8-19-1, Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka, Japan

³⁾ 福岡大学大学院スポーツ健康科学研究科 814-0014 福岡県福岡市城南区七隈8-19-1 Graduate school of Sports and Human Health Science, Fukuoka University, 8-19-1, Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka, Japan

and consented to participate in this experiment. The intervention was performed for six weeks (10 × five sets per day, three times a week). The measurements of EMD and muscle strength in ankle plantar flexion were performed by using a dynamometer (KinCom 500H) during eccentric muscle actions. The start of reaction indicated by EMD was measured in proprioceptor response of the plantar. The walking performance was measured by two-dimensional photography taken from the side. The result showed significant improvement in post values of the EMD, total reaction time, and peak torque value compared to the pre values (EMD: pre 69.9±10.5 msec, post 63.1±7.1msec; total reaction time: pre 300.1±56.7msec, post 264.8±38.2msec; peak torque value: pre 50.0±18.9 Nm, post 62.9±12.2 Nm). However, no significant differences were observed between the pre and post stride, pitch, maximum walking velocity, and normal walking velocity parameters. Basically, the calf-raising exercise was effective for the functional recovery of the triceps surae. As to the ineffectiveness on walking performance, this could be explained by functional restriction of knee and hip joints.

Keywords: older adults, ankle plantar flexion, calf-raising exercise, electromechanical delay, walking performance

目 的

平成21年に総務省が発表した人口推計によると、我が国は2007年に高齢社会（高齢化率14%以上21%未満）から超高齢社会（21%以上）に突入したとの報告がなされた（総務省, 2009）。この様な社会背景を踏まえ、これからの高齢者が支援や介護に頼らず、日常の生活活動（Activities of Daily Living : ADL）を維持し、高いQOL（生活の質）を営むことのできる身体的機能を保持することが、大きな社会的課題として求められている。この課題を解決していくためには、高齢者の筋-神経系の機能の向上に関する研究において更なるエビデンスを確立することが重要な課題となってくる。

加齢による身体諸機能の変化に関する研究は、これまでに多様な側面から行われている。骨格筋や神経系の機能に関する研究も数多く行われ、加齢に伴う筋機能についてのメカニズムなどが明らかにされてきている（Larsson et al., 1979; Vandervoot and McComas, 1986; Vallas et al., 1998; 高瀬ほか, 2005）。その中でも、高齢者にとって最も重要な機能の一つであると考えられる歩行能力に関する研究は、これまでに枚挙にいとまがないほどなされ、加齢による影響が明らかにされてきている（Himann et al., 1988 ; Whitman et al., 2001 ; Verghese et al., 2002 ; 若吉と和田, 2006）。

高齢者は日常の行動において、つまずき転倒などによる傷害が多く、その際の転倒を防ぐためには、下肢における筋-神経系機能が重要になってくる。中でも、「足関節の底屈機能」は歩行時の安定性や踏み込み動作に関係し、その機能が低下（淵本ほか, 1999 ; 高瀬ほか, 2012 ; 田路と金子, 2012）すると単脚支持期中盤局面（ミッドスタンス）での身体の動的安定性の低下（Menze et

al., 2005）や、単脚支持後半局面（ターミナルスタンス）での踵の早期離床動作が見られるようになり（踏み込みが弱くなる）（Nigg et al., 1994）、歩行速度の低下や高齢者の「よちよち」および「すり足」歩き化現象を引き起こす要因となる。岡本ほか（1993）は、大股歩行を行うことによって、すり足が原因で転倒をすることを防ぐことができることを述べており、加齢に伴う足関節底屈機能の低下を防ぐことは、高齢者の歩行能力の維持を図る上において重要な要素であることが考えられる。また、2007年に日本整形外科学会によって提唱されたロコモ（locomotive syndrome）：運動器症候群（「運動器の障害」により「要介護になる」リスクの高い状態になること）を防ぐ意味においても、「足関節底屈機能」の改善を目的としたエクササイズが必要であると考えられる。

筋-神経系の機能を評価する有効的な指標の一つに electromechanical delay ((EMD) (Cavanagh and Komi, 1979)) がある。EMDは、筋が内部出力（EMGの発現）してから慣性や抵抗に打ち勝って外部出力（関節の実際的な動き）するまでの遅延時間であり、歩行動作の発現や停止の状態に反映する重要な生体情報の一つである。特に、足関節底屈動作時の EMD は、歩行時におけるつまずきの際の反応や安定性の確保に重要な役目をなすと考えられ、高齢者を対象としたエクササイズの介入による EMD へのトレーナビリティを明らかにすることは重要な要素の一つであると考えられる。

足関節底屈機能の改善に効果的なエクササイズとしては、カーフレイズエクササイズがある。カーフレイズエクササイズは、中足指節関節を支点とし腓腹筋とヒラメ筋（以下：下腿三頭筋）の収縮によって行われる（一部前頭骨筋も作用）踵部の上げ下ろし運動であり、「高齢者にも日常的に無理無く実施」できるエクササイズとし

て有効的であることが考えられる。これまでに高齢者を対象とした自重負荷による研究は、転倒予防や介護予防を目的とした観点から多くの研究が行われている（和島ほか, 2003；井口茂ほか, 2007；岡田ほか, 2010）が、高齢者を対象にカーフレイズエクササイズ（足関節底屈の筋-神経系機能や歩行能力に与える影響についての検討を行った研究は見当たらない現状（Latham et al., 2004））にあり、その機能の改善を目的とした研究は重要であると考えられる。

本研究は、65歳以上の健常な高齢者を対象に下腿三頭筋の機能改善に有効とされるカーフレイズエクササイズの介入を6週間行い、その介入が高齢者の筋-神経系機能や歩行能力に及ぼすトレーニング効果について検討することを目的とした。

方法

1. 被験者

被験者は、福岡市に在住する健常な女性高齢者25名（平均年齢75.2±5.6歳）を対象とした。被験者の身長、体重、BMIはTable 1に示した。また、被験者の多くは、週1～2回程度の軽い運動（体操、ウォーキングなど）を行う習慣がある人々で、自立的歩行に関し全く問題のない高齢者である。本研究は、福岡大学研究倫理委員会で承認後、被験者全員に本研究の内容に対しインフォームド・コンセントを実施し、実験参加に対し承諾を得て実施した。

Table 1 Physical Characteristics of subjects

Number	Age (years)	height (cm)	Body mass (kg)	BMI (kg/m ²)
25	75.6±5.2	150.7±6.9	50.4±7.7	22.2±2.4

Values are mean ± S.D.

2. エクササイズ介入

エクササイズは、6週間のカーフレイズエクササイズ（定量化した踵上げ運動）を、1日あたり10回×5セット、週3回の介入を行った。負荷を大きくするため厚さ5cmの板を使用し、踵はできるだけ高く上げるよう指示した。その際の動作は、効果を上げるために挙上3秒、降下3秒を目安に可能な限りスローな動作（筋発揮張力維持スロー法を用いることで、より効果的にトレーニングの効果を高めることができる：Tanimoto and Ishii 2005）で行うように指示を行った（Fig. 1）。

介入は、エクササイズの十分な指導の後、原則非監視下で実施した。その際、被験者にはエクササイズの実施について毎回記録させ、2週間に1回実施についての確

認と動作のチェックを行った。

また、介入後の被験者の身体特性は介入前と顕著な変化は見られていない。

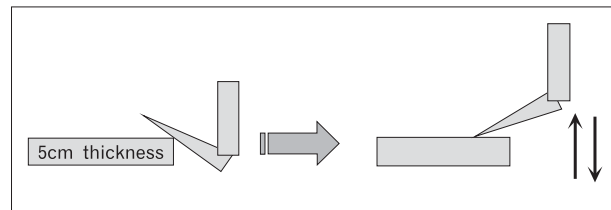


Fig. 1 calf-raising exercise

3. 測定方法

3.1 各種筋反応時間の測定

測定は、筋力測定装置 KIN-COM500H を使用し、仰臥位にて足関節底屈動作における伸張性筋活動（Eccentric muscle action : ECC）時の electromechanical delay (EMD) 及び Pre-motor reaction time (PMT), Total reaction time (TRT), 筋トルク発生からピークトルク値までの時間（Movement time to peak torque : MTPT）を測定した。動作を開始するための刺激（スタート）の種類は、実際の日常場面等で不意に生じる外乱負荷に近い形での実施を想定するために、動作開始のタイミングが予測できないようにランダムな間隔での刺激による固有受容器反応で行った（Fig. 2）。



Fig. 2 Measurement of ankle plantar flexion functions

反応は、KIN-COMの他動運動モードにて、20degree/secの運動速度で足底部を他動的（不随意的）に動かし、アタッチメントの動きを認知したら即座に底屈方向に反応させた。その際、可能な限り速く強く行うよう指示を出し、測定を実施した。

筋の活動電位を導出するための被検筋は内側腓腹筋を対象とした。活動電位は、剃毛およびエタノールによる消毒を実施した後、皮膚抵抗を下げるために電極ペーストを塗布し表皮を剥離させ、その後に直径10mmの双極

表面電極を極間20mmの間隔で貼付しEMGを導出した。活動電位は、POLYGRAPH SYSTEM RM-6000（日本光電工業社製）を用いてモニタリングし、時定数0.03sec, 高域遮断周波数1.5kHzで記録した。

試技は、下腿部および体幹部のストレッチなどの十分なウォーミングアップを行い、その後、十分な試技の練習の後に再現性の得られた試技（失敗試技や顕著に対応が遅れた試技を省く）3回を記録し、3回の平均値をデータとして採用した。EMDおよび各種反応時間のデータは、腓腹筋からのEMGシグナルとKIN-COMからのforce信号およびangle信号を同期させ、システムコンピュータでA/D変換し、解析データの計測を実施した。

3.2 反応時間の定義

測定項目および定義は以下に記した（Fig. 3）。

- (1) EMD：EMGシグナルの発現から筋トルクが出現するまでの時間とした。
- (2) PMT：刺激開始からEMGシグナルが発現するまでの時間とした。
- (3) TRT：刺激の開始から筋トルクが出現するまでの時間とした。
- (4) MTPT：筋トルク発生からピークトルク値に到達するまでの時間とした。

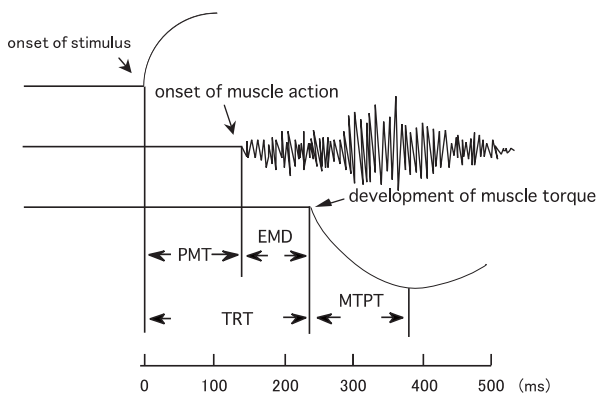


Fig. 3 Calculation of reaction times

3.3 ピークトルク値の測定

測定は筋力測定装置 KIN-COM500H を使用し、足関節底屈動作時の ECC 時の筋出力を測定した。可動範囲は 0° ~ 20° の範囲で実施した。試技は 3 回行い、最大値をピークトルク値 (PT) とした。

3.4 歩行動作撮影

歩行は20mの区間において自然歩行と全力歩行をそれぞれ3回実施させ、歩行が安定する10mから15mの区間（5m）を側方2次元撮影を行い、試技3回の平均速度、ストライド、ピッチを算出した。自然歩行は、普段歩い

ている普通のスピードで歩くように指示をし、全力歩行は可能な限り早く歩くよう指示を行った（Fig. 4）。

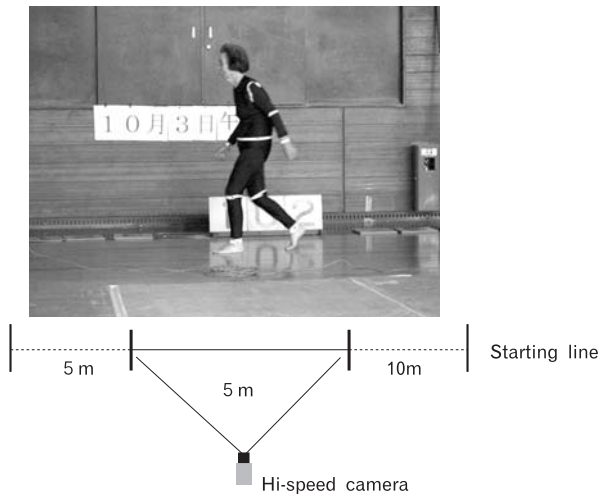


Fig. 4 Measurement of walking functions

4. 統計処理

エクササイズ介入前 (pre) とエクササイズ介入後 (post) 間の比較は、対応のある student の t 検定を用いて行った。各パラメータ全ての統計処理において、危険率5%水準を統計学的有意とした。データは、平均±標準偏差で表記した。

結果

1. 各種筋反応時間における pre と post 間の比較

EMDとTRTにおいてpreよりもpostの値が5%水準で有意な向上が認められた (EMD: pre 69.9 ± 10.5 msec, post 63.1 ± 7.1 msec; TRT: pre 300.1 ± 56.7 msec, post 264.8 ± 38.2 msec) (Fig. 5, 6)。しかし、MTPTの値においては有意な向上は認められなかった (Fig. 7)。

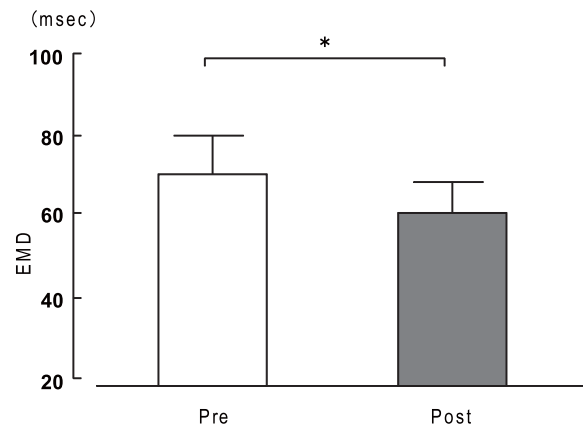


Fig. 5 Comparison between pre and post electromechanical delay (* : $p < 0.05$)

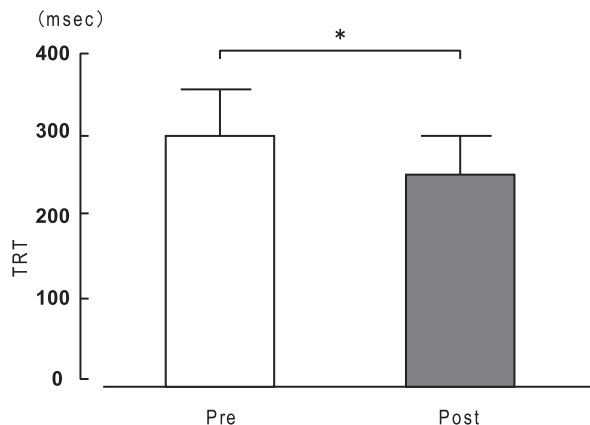


Fig. 6 Comparison between pre and post total reaction time (* : $p < 0.05$)

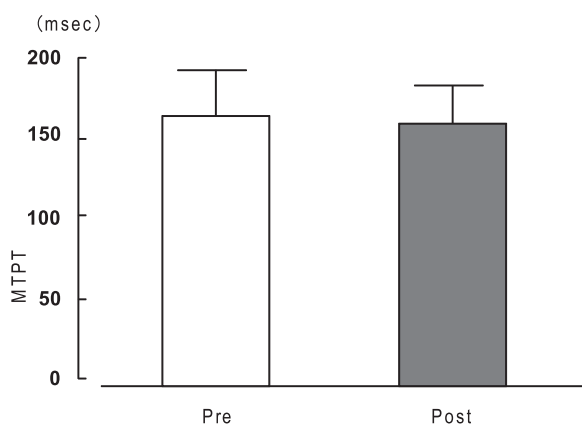


Fig. 7 Comparison between pre and post movement time to peak torque

2. ピークトルク値における pre と post 間の比較

PT においては、pre と post 間において 1% 水準で有意な向上が認められた (PT : pre 50.0 ± 18.9 Nm, post 62.9 ± 12.2 Nm) (Fig. 8)。

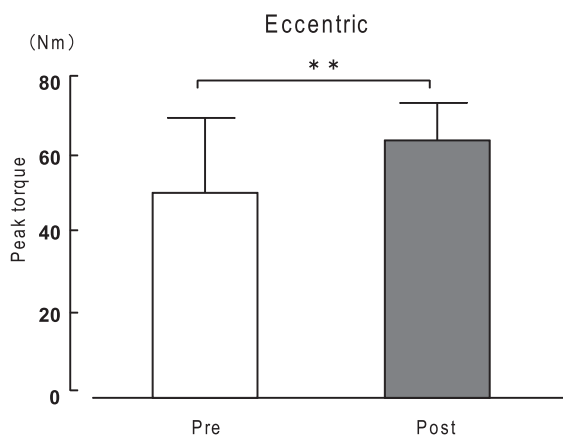


Fig. 8 Comparison between pre and post peak torque (** : $p < 0.01$)

3. 歩行能力における pre と post 間の比較

歩行能力は、自然歩行と全力歩行ともストライド、ピッチ、歩行速度の全てのパラメータにおいて有意な向上が認められない結果であった (Table 2)。

Table 2 Comparison between pre and post walking performances

	Pre		Post
Stride (m/step)			
Usual walking	0.60 ± 0.07	n.s.	0.59 ± 0.06
High-speed walking	0.66 ± 0.1	n.s.	0.63 ± 0.09
Pitch (step/s)			
Usual walking	2.35 ± 0.9	n.s.	2.38 ± 0.4
High-speed walking	2.67 ± 0.6	n.s.	2.72 ± 0.5
Speed (m/s)			
Usual walking	1.42 ± 0.3	n.s.	1.75 ± 0.5
High-speed walking	1.40 ± 0.3	n.s.	1.72 ± 0.5

Values are mean \pm S.D.
n.s.: No significant difference

考 察

歩行機能の低下は、一般的に中・高年の後期である60歳くらいの年齢を境にして経年に伴い顕著な低下を示すといわれている (Himann et al., 1998)。当然、その低下が大きくなれば何らかの支援や介護が必要となることも考えられる。歩行能力は、加齢に伴いストライドが有意に低下し、それに伴って歩行速度が低下していく (Murray et al., 1985 ; 高瀬ほか, 2012)。その低下は、股関節や膝関節の筋-神経系における機能的な低下などの要因が考えられるが、足関節の底屈における機能の低下もその主要因であることが明らかになっている (Nigg et al., 1994 ; Menze et al., 2005 ; 高瀬ほか, 2012)。高齢者は日常の行動において、つまずき転倒などによる傷害が多く、その原因の一つに動的なバランス機能の低下が考えられる。足関節の底屈機能は歩行時の安定性や踏み込み動作に関係し、その機能が低下するとミッドスタンスでの身体の動的安定性の低下や、ターミナルスタンスでの踵の早期離床動作が見られるようになり (踏み込みが弱くなる) (Nigg et al., 1994)、いわゆる高齢者の「よちよち」および「すり足」歩き化現象を引き起こす要因となる。加齢に伴い「よちよち」や「すり足」になると、歩行時につまずきやすくなり、傷害の原因になる。歩行時の動的安定性には足関節のPTは重要になるが、歩行時におけるつまずきの際の反応や単脚支持期初期での安定性の確保には、反応時間が重要な

る。特に EMD は、筋が内部出力 (EMG 発現) してから慣性や抵抗に打ち勝って外部出力 (実際的な関節動作) するまでの時間的遅れ (time lag) であり、突発的な外乱の付加の際の反応動作に際し重要な役割をなす。これらの背景から、本研究では、高齢者の足関節底屈機能と歩行能力にフォーカスをあて、カーフレイズエクササイズを導入することで、それらの機能にどのようなトレーニングが得られるのかについて検討を行った。

本研究の結果、EMD、TRT、PT において、カーフレイズエクササイズの介入による効果が有意に認められ、カーフレイズエクササイズは高齢者の下腿三頭筋の筋-神経系の機能の向上による足関節底屈機能の改善に有効的であることが考えられた。この効果は、下腿三頭筋における F 型運動単位の動員の改善による神経系の適応や収縮要素 (contractile component : CC) の収縮機能の改善、さらにはアキレス腱の直列弾性要素 (series elastic component : SEC) の弾性機能の改善 (kubo et al., 1999 ; kubo et al., 2001 ; Arampatzis et al., 2005) によるところが大きいと推測できる。よって、これらの機能的な改善により、歩行時の安定性や踏み込みが良くなり、ミッドスタンスでの身体の動的安定などの向上に繋がること示唆される。

それぞれの要因としては、PT は CC の改善による影響が大きいと考えられるが、EMD は力の伝達時間であるため CC に加えアキレス腱の SEC の状態が重要で、カーフレイズエクササイズによりアキレス腱のスラッグの減少やスティフネスの増加がもたらされたことによって反応が早くなったものと推察される。Linford et al., (2006) は、若年者を対象に 6 週間の足関節も含めた複数のエクササイズを実施し長腓骨筋の EMD が有意に短くなったことを報告している。高齢者を対象とした本研究においても同様な結果が確認され、高齢者におけるカーフレイズエクササイズの有効性が示唆された。また、TRT は、感覚受容器の興奮から神経接合部までの神経伝達時間である PMT と筋内部の反応時間である EMD との総和 ($TRT = PMT + EMD$) である。カーフレイズエクササイズによって TRT が改善した要因としては、EMD の短縮によることが大きく、TRT が短くなれば突発的な外乱的負荷などの際の反応動作が速くなることが考えられ、転倒の防止にも繋がることと考えられる。一方、トルク発生からピークトルク値に到達するまでの時間である MTPT には、pre と post との間において有意な変化は見られなかった。MTPT はその他の潜時である反応時間とは異なり力の要素も大きく関連し、カーフレイズエクササイズによって力の立ち上がりは向上したが、出力が大きくなった分、PT に達するまでにより時間を要してしまったことが影響しているものと示唆される。

歩行能力に関しては、ストライド、ピッチ、最大歩行速度、自然歩行速度などの歩行能力のパラメータには顕著な変化が認められない結果であった。仮説としては、足関節底屈の筋-神経系機能が有意に改善されれば、ストライド及び歩行速度において有意な変化が生じるものと考えていた。しかしながら、下腿三頭筋の筋-神経系の機能が有意に向上したにも関わらず歩行能力には変化が見られなかったことは、足関節底屈の筋-神経系機能が増加した分、膝関節や股関節の機能により動作が相殺 (抑制) されたためではないかと考えられる。また、加齢に伴い脳の機能には低下が生じ、運動機能全体の調整にも影響が生じてくることが明らかにされている (Whitman et al., 2001 ; Verghese et al., 2002 ; Vaynman et al., 2004)。このことを踏まえて考えると、カーフレイズエクササイズにより足関節底屈の筋-神経系の機能が向上しても、短い期間では歩行時の動的安定性を確保 (Patla, 1995) することが優先的となり、それによって防御 (動作の制御) に入るような不随意的な調整が働き、安全性の確保の方が優先的になった可能性が推察される。Norris et al. (2007) は、足関節底屈パワーを増強させる装具を装着して歩行したときの歩行速度の変化について調べた結果、高齢者においては足関節の単関節だけに働きかけても走行時の推進力を向上させるだけの効果は得られなかったことを報告している。また、Haines (1974) は、筋力トレーニングが歩行時の動的安定性の改善には必ずしも効果的ではないと報告しており、歩行能力改善を目的としたエクササイズは部分的な効果を目的としたものではなく、トータルで考える必要性もあると考えられる。一方では、本研究のエクササイズ介入の期間が 6 週間と比較的短期間であったために、歩行動作の変容が顕著に見られるまでには期間的な問題が関係した可能性も推測することができ、長期間の実施によって歩行能力への結果は変わることも推測できる。これらを踏まえ、継続的な検証の必要性がこの研究の次なる課題であろう。

以上のことより、高齢者におけるカーフレイズエクササイズは、足関節底屈における筋-神経系機能の改善を目的に、自宅で簡単に実施・継続できるエクササイズとして有効であると判断できる。また、歩行能力への効果に関しては、さらに段階的に負荷量と回数を増やす (アメリカスポーツ医学会, 2004) ことも含めた継続的にエクササイズを実施し、より長期的な期間においての効果を検討する必要性と、膝関節と股関節のエクササイズを取り入れた複合的なエクササイズの実施による検討も更なる課題として挙げられる。

まとめ

本研究は、65歳以上の健常な高齢者を対象に下腿三頭筋の機能改善に有効とされるカーフレイズエクササイズを導入を6週間行い、その介入が高齢者の筋-神経系機能や歩行能力に及ぼすトレーナビリティについて検討することを目的とし、以下のことが明らかとなった。

1. EMDとTRTにおいてpreよりもpostの値が5%水準で有意な向上が認められた。しかし、MTPTの値においては有意な向上は認められなかった。
2. PTにおいては、preとpost間において1%水準で有意な向上が認められた。
3. 歩行能力は、自然歩行と全力歩行ともストライド、ピッチ、歩行速度の全てのパラメータにおいて有意な向上が認められない結果であった。

以上のことより、高齢者におけるカーフレイズエクササイズは、足関節底屈における筋-神経系機能の改善を目的としたエクササイズとして有効的であると考えられた。また、歩行能力への効果については、より長期的な介入及び膝関節と股関節を考慮した複合的なエクササイズの導入が必要であると示唆された。

本研究は、平成22年度名桜大学総合研究所一般研究助成により実施した研究である。

参考文献

- アメリカスポーツ医学会・編：運動処方指針—第6版—。南江堂，2004
- Arampatzis AS, Stafilidis G, DeMonte K., Karamanidis G, Morey-Klapsing, Bruggemann GP (2005) Strain and elongation of the human gastrocnemius tendon and aponeurosis during maximal plantar flexion effort. *J Biomech.* 38 : 833-841.
- Caruso G, Labianca O, Ferrannini Z (1973) Effects of ischemia on sensory potentials of normal subjects of different ages. *J. Neurol. Neurosurg. Psych.*, 36, 455-466.
- Cavanagh PR, Komi, PV (1979) Electromechanical delay in human skeletal muscle under concentric and eccentric contractions. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 42 : 159-163.
- Haines RP (1974) Effect of bed rest and exercise on body balance. *J. Appl. Physiol.*, 36 : 323-327
- Himann JE, Cunningham DA, Rechnitzer, PA, Paterson DH (1998) Age-related changes in speed of walking. *Med Sci Sports Exerc.*, 20 : 161-166.
- 井口茂, 松坂誠應, 陣野紀代美 (2007) 在宅高齢者に対する転倒予防プログラムの検討：低頻度プログラムの適応理学療法科学, 22(3) 385-390
- Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T (2001) Effects of different duration isometric contractions on tendon elasticity in human quadriceps muscles. *J Physiol.* 536 : 649-655.
- Kubo, K, Kawakami Y, Fukunaga T (1999) Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *J Appl Physiol.* 87 : 2090-2096.
- Kubota K, Hamada I (1979) Preparatory activity of monkey pyramidal tract neurons related to quick movement onset during visual tracking performance. *Brain Res.*, 168 : 435-439.
- Larsson L (1983) Histochemical characteristic of human skeletal muscle during aging. *Acta Physiol. Scand.*, 496-471, 1983
- Latham NK, Bennett DA, Stretton CM, Anderson CS (2004) Systematic review of progressive resistance strength training in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*, 59(1) : 48-61.
- Linford CW, Hopkins JT, Schulthies SS, Freland B, Draper DO, Hunter I (2006) Effects of neuromuscular training on the reaction time and electromechanical delay of the peroneus longus muscle. *Arch Phys Med Rehabil.*, 87(3) : 395-401.
- Murray MP, Spurr GB, Sepic SB, Gardner GM, Mollinger LA (1985) Treadmill vs. floor walking : kinematics, electromyogram, and heart rate. *J Appl Physiol* 59 : 87-91.
- Nigg BM, Fischer V, Ronsky JL (1994) Gait characteristics as a function of age and gender. *Gait Posture.* 2 : 213-220
- Norris JA, Granata KP, Mitros MR, Byrne EM, Marsh AP (2007) Effect of augmented plantar flexion over on preferred walking speed and economy in young and older adults. *Gait Posture.* Apr : 25(4) : 620-7.
- 岡田知佐子, 上野勝則, 紙谷武 他 (2010) 高齢者の運動機能トレーニング転倒予防教室 臨床スポーツ医学, 55-60
- Patla AE (1995) A Framework for understanding mobility problems in the elderly. St Louis : Mosby year book.
- 総務省統計局：人口推計（平成21年10月1日現在）年齢別人口，<http://www.stat.go.jp/index.htm>（参照2011年10月1日）
- 高瀬幸一, 田口正公, 柿本真弓, 田原亮二, 仲田好邦

- (2012) 高齢者における足関節底屈機能と歩行機能への加齢の影響, 名桜大学総合研究所紀要, 21, : 13-19
- Tanimoto M, Ishii N (2005) Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *J. Appl. Physiol.*, 100 : 1150-1157.
- Vandervoort AA, McComas AJ (1986) Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. *J Appl Physiol.* Jul; 61(1)36 : 1 - 7
- Verghese J, Buschke H, Viola L, Katz M, Hall C, Kuslansky G, Lipton R (2002) Validity of divided attention tasks in predicting falls in older individuals : a preliminary study. *J Am Geriatr Soc.* Sep; 50(9) : 1572-1576.
- Vaynman S, Ying Z, Gomez-Pinilla F (2004) Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic and cognition. *Eur. J. Neurosci*, 20 : 2580-2590.
- Vellas BJ, Wayne SJ, Romero LJ, Baumgartner RN, Garry PJ (1998) Fear of falling and restriction of mobility in elderly fallers. *Age and Ageing*, 26 : 457-464.
- 和島英明, 井上静代, 菊地原広憲 他 (2003) 在宅の虚弱高齢者に対する転倒予防教室の介入効果 月刊地域保健, 60-67