

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

高瀬幸¹⁾³⁾・田口正公²⁾・柿本真弓²⁾・田原亮二²⁾・仲田好邦¹⁾

Influence of aging on ankle plantar flexion function and walking function in older adults

Koichi Takase¹⁾³⁾・Masahiro Taguchi²⁾・Mayumi Kakimoto²⁾

Ryoji Tahara²⁾・Yoshikuni Nakada¹⁾

要 旨

本研究の目的は、高齢者を対象に足関節の筋-神経系機能、歩行機能を測定し、前期高齢者と後期高齢者の比較から高齢者の関節の筋-神経系機能、歩行機能の特性を明らかにすることである。被験者は、健康な女性高齢者25名（平均年齢75.2±5.6歳）を対象とし、その中から前期高齢者13名（70.0±2.2歳）と後期高齢者12名（80.0±4.3歳）に振り分け分析・検討を行った。足関節底屈の筋反応時間、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。また、その際の反応刺激は、足関節底屈部の固有受容器反応にて実施した。歩行機能は、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、最大歩行速度（前期高齢者：1.91±0.5m/s、後期高齢者：1.5±1.4m/s）とストライド（前期高齢者：69.3±5.3cm、後期高齢者：60.5±6.0m/s）においては、前期高齢者より後期高齢者の値が有意に劣っていた（最大歩行速度：p<0.001、ストライド：p<0.01）。Electromechanical delay においては、前期高齢者より後期高齢者の値が5%水準で有意に劣っていた（前期高齢者：65.6±9.1msec、後期高齢者：73.8±9.3msec）。同様に Pre-motor reaction time も、前期高齢者より後期高齢者の値が5%水準で有意に劣っていた（前期高齢者：210.9±23.9msec、後期高齢者：252.7±53.5msec）。ピークトルク値においては、前期高齢者（55.5±18.0Nm）に対して後期高齢者（40.4±12.4mN）が5%水準で有意に劣っていた。これらの結果、加齢に伴い足関節底屈機能は低下することが明らかになり、この機能的低下は高齢者の歩行機能に影響を及ぼす可能性が示唆された。これらの機能改善にはカーフレイズなどのエクササイズが有効的であることが示唆された。

キーワード：高齢者、足関節底屈、Electromechanical delay、歩行機能

Abstract

Ankle plantar flexion is important in the mid-stance and terminal stance phases in walking. Therefore, if the function of ankle plantar flexion decreases, it influences walking. PURPOSE: The purpose of this study is, by measuring electromechanical delay and strength in ankle plantar flexion of older adults, to investigate the characteristics of older adults' electromechanical delay (EMD) and muscle strength in comparison between 60 to 70 year-old subjects and those over the age of 70. METHOD. A group of 25 healthy older female (mean age: 75.2±5.6years)

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, Biimata, 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

subjects gave informed consent for participating in this experiment. In addition, we classified the older women into two groups: the ones who were “young-old” (n=13, mean age: 70.0±2.2 years) and the ones who old-old (n=12, mean age: 80.0±4.3years). The measurements of EMD and muscle strength in ankle plantar flexion were performed by using a dynamometer (KinCom 500H). Moreover, the measurements were performed under the condition of eccentric muscle action. The initial reaction in measurement of EMD was performed on the proprioceptor response of the plantar. RESULTS: The main results were as follows: Maximal walking velocity (“young-old”: 1.91±0.5m/s, “old-old”: 1.5±1.4m/s) and stride (“young-old”:69.3±5.3cm, “old-old”:60.5±6.0m/s) concerning the walking capabilities of the “old-old” were significantly worse (Maximal walking velocity: p<0.001, stride: p<0.01) than those of the “young-old”. In the EMD of the old-old, there was significantly longer time spent (p<0.05) than by the “young-old” (“young-old”: 65.6±9.1msec, “old-old”: 73.8±9.3msec). Similarly, in pre-motor reaction time (“young-old”: 210.9±23.9msec, “old-old”:252.7±53.5msec) and peak torque value (“young-old”: 55.5±18.0Nm, “old-old”:40.4±12.4Nm) these were significantly worse (p<0.05) than those of the “young-old”. CONCLUSION: These results suggest the following: According to age, the function of plantar flexion clearly decreases. This decrease was considered to affect the ability of the elderly to walk. Therefore, the calf raise exercise intervention was considered to be effective in the elderly.

Key words: Older adults, ankle plantar flexion, Electromechanical delay, walking function.

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。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機能に関する研究は、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。一方、歩行機能に大きな影響を及ぼすと考えられる高齢者の足関節の筋-神経系の機能的特性に関する研究は、筋出力や歩行時のパワーに関する研究はいくつか見当たるが（Svantesson and grimby, 1995; Norris et al., 2007; Kim et al., 2011）、筋-神経系の評価において重要である Electromechanical delay（Cavanagh and Komi, 1979）や筋反応時間を対象と

した研究は行われていない。Electromechanical delay（EMD）は、筋が内部出力（筋放電によるelectromyography：EMGの発現）してから外部出力（関節の実際的な動き）するまでの遅延時間（潜時）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。

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）、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。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、加齢による足関節底屈動作時のEMDの特性を明らかにすることは重要であると考えられる。

本研究は、日常的に支援や介護を必要としない健康な女性高齢者を対象に、足関節底屈動作時のEMD、筋反応時間、筋出力の測定および歩行機能を測定し、前期高齢者と後期高齢者との比較から高齢者の足関節底屈機能と歩行機能の特性を明らかに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、その中から前期高齢者13名（ 70.0 ± 2.2 歳）と後期高齢者12名（ 80.0 ± 4.3 歳）に振り分け分析・検討を行った。被験者の身長、体重は 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 each group

Groups	Number	Age (years)	height (cm)	Body mass (kg)
Young-Old (65-74years)	13	70.0 ± 2.2	150.7 ± 6.0	50.4 ± 6.2
Old-Old (75years old or more)	12	80.0 ± 4.3	148.3 ± 5.3	50.2 ± 8.3

Values are mean \pm S.D.

2. 測定方法

1) 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 EMD 及び Pre-motor reaction time, Total reaction time, 筋トルク発生からピークトルク値までの時間を測定した。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。

反応は、KIN-COM の他動運動モードにて、 20 degree/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10 mm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、大腿直筋からの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 (Fig.1)。

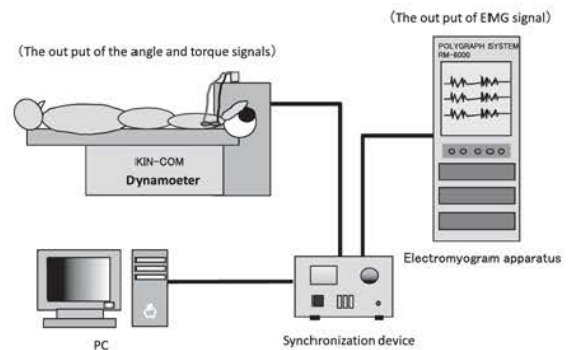


Fig. 1 Schematic figure of the measurement

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. 2)。

- (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) Pre-motor reaction time (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) Total reaction time (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) Movement time to peak torque (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。

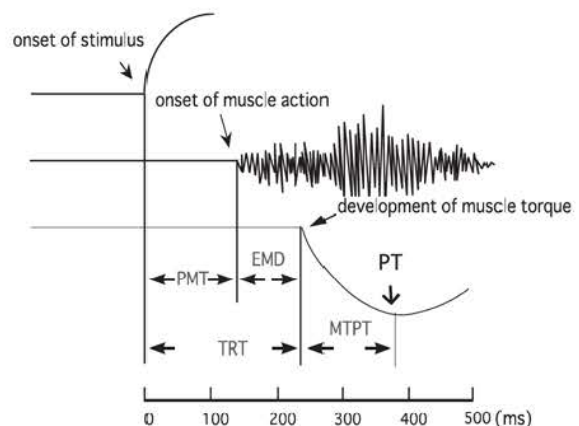


Fig. 2 Calculations of muscle reaction times

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 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 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。

4) 歩行動作撮影

歩行は全力歩行を 3 回実施し、側方から 5 m 区間を 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。

3. 統計処理

前期高齢者と後期高齢者間の比較は、対応のない student の t 検定を用いて行った。一方、歩行機能と反応時間および筋出力との関係は、回帰分析を行いピアソンの積率相関係数を用いて行った。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。

結果

(1) 歩行機能

歩行速度とストライドにおいては、前期高齢者より後期高齢者が有意に劣っていたが、ピッチには有意な差が見られなかった (歩行速度: 前期高齢者 $1.91\pm 0.5\text{m/sec}$, 後期高齢者 $1.5\pm 0.4\text{m/sec}$ で 0.1% 水準, ストライト: 前期高齢者 $69.3\pm 5.3\text{cm}$, 後期高齢者 $60.5\pm 6.0\text{cm}$ で 1% 水準, ピッチ: 前期高齢者 $2.77\pm 0.4\text{step/sec}$, 後期高齢者 $2.55\pm 0.2\text{step/sec}$ で有意差なし)。 (Fig. 3, 4, 5)。

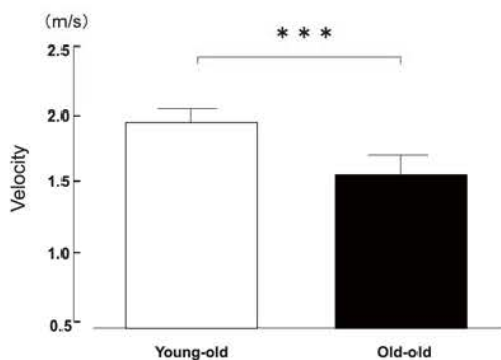


Fig. 3 Maximal walking velocity of young-old and old-old groups in high-speed walking (** * : $p < 0.001$)

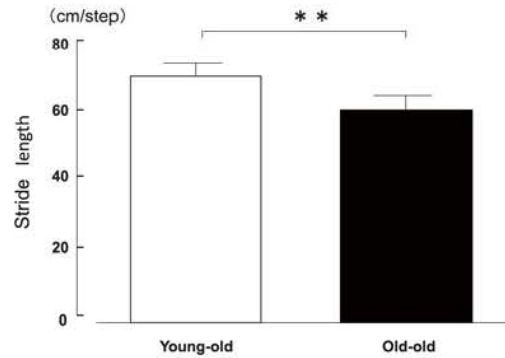


Fig. 4 Walking Stride of young-old and old-old groups in high-speed walking (** * : $p < 0.01$)

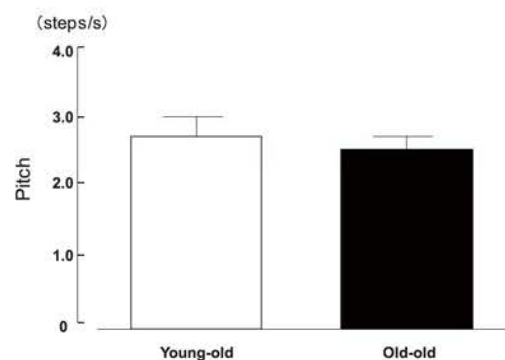


Fig. 5 Walking pitch of young-old and old-old groups in high-speed walking

(2) 反応時間

EMD, PMT, TRT の値において、前期高齢者より後期高齢者がそれぞれ 5% 水準で有意に劣っていた (EMD: 前期高齢者 $65.6\pm 9.1\text{msec}$, 後期高齢者 $73.8\pm 9.3\text{msec}$, PMT: 前期高齢者 $210.9\pm 23.9\text{msec}$, 後期高齢者 $252.7\pm 53.5\text{msec}$, TRT: 前期高齢者 $276.5\pm 32.9\text{msec}$, 後期高齢者 $326.5\pm 60.4\text{msec}$)。しか

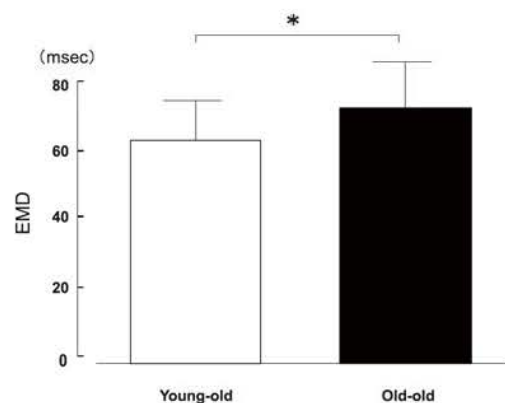


Fig. 6 EMD of young-old and old-old groups (* : $p < 0.05$)

しながら、MTPTには前期高齢者(164.6±33.1msec)と後期高齢者間(154.5±31.6msec)に有意な差は見られなかった(Fig. 6, 7, 8, 9)。

(3) 筋出力

PTの値は、前期高齢者(55.5±18.0Nm)と後期高齢者間(40.4±12.4Nm)に5%水準で有意な差が認められた(Fig. 10)。

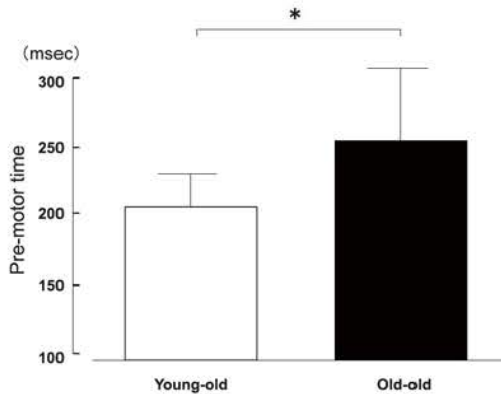


Fig. 7 PMT of young-old and old-old groups (* : p<0.05)

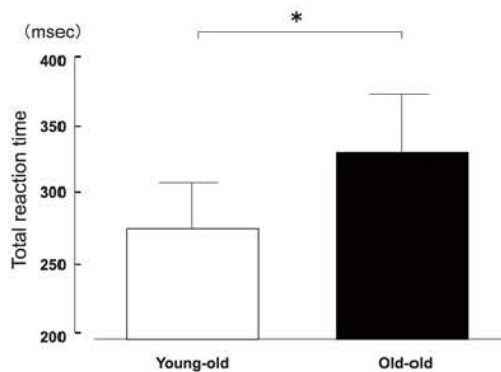


Fig. 8 TRT of young-old and old-old groups (* : p<0.05)

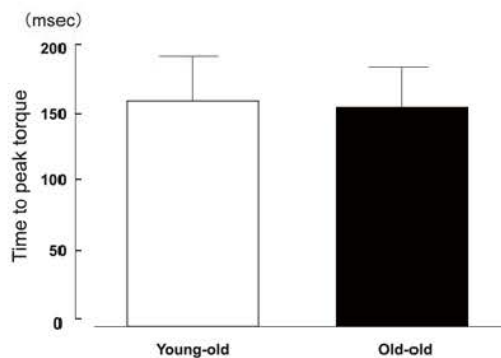


Fig. 9 MTPT of young-old and old-old groups (* : p<0.05)

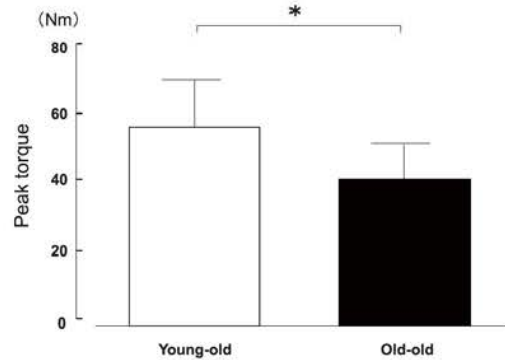


Fig. 10 PT of young-old and old-old groups (* : p<0.05)

(4) 歩行機能と反応時間および筋出力との関係

全力歩行時のストライドとPTとの間に有意な正の相関関係(r=0.508 : p<0.01)が認められた(Fig. 11)。しかしながら、ストライド、ピッチ、歩行速度における各パラメータとEMD, PMT, TRT, PTとの間には有意な関係は認められなかった。

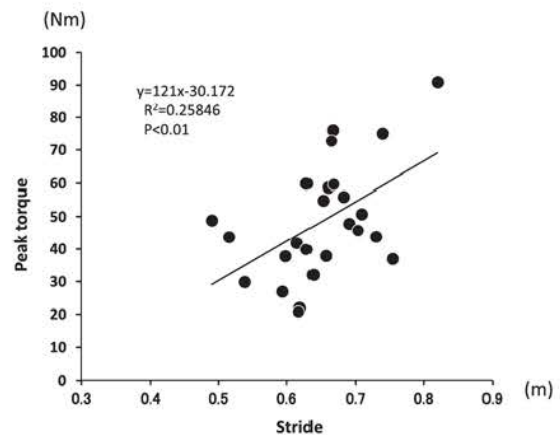


Fig. 11 Relationship between stride and PT

考 察

筋-神経系機能の低下は、一般的に中高年である50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(Larsson et al., 1979; Vandervoot and McComas, 1986; Vallas 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。本研究では、高齢者の足関節底屈機能と歩行機能にフォーカスをあて、それらの機能的特性について検討した。

歩行機能においては、加齢に伴い全力歩行での速度、ストライドが有意に低下することが明らかになり、特に足関節底屈のPTの低下がストライドに影響を及ぼしている可能性が示唆された。加齢に伴う歩行速度の低下は、ピッチの低下ではなくストライドが狭くなることによって生じ(Murray et al. 1985)、そのストライドの低下

は膝関節の伸展力の低下による要因（福永，2009）のみならず，足関節底屈のPTが加齢による影響を受けることも原因の一つであることが示唆された。加齢による足関節底屈のPTが低下した場合，ターミナルスタンスでのプッシュ動作が弱くなり，それに伴ってストライドが狭くなると考えられる。Himann et al., (1998) は，歩行速度は62歳を過ぎると急激に低下することを報告しており，このことから前期高齢者に入る前からの予防的な手段としてのエクササイズの必要性が示唆される。

高齢者は日常の行動においては，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安定性の確保には，反応時間が重要になる。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，突発的な外乱的付加の際の反応動作に際し重要な役割をなす。

本研究の結果，足関節底屈のEMDは前期高齢者と後期高齢者との間において有意に遅延することが認められ加齢の影響を大きく受けることが明らかになった。足関節底屈のEMDが加齢により有意に遅延するということは，突発的な外乱的付加の際の接地瞬間の反応動作の遅延や動的安定性に低下が生じ，転倒などの際の傷害の原因にもなることが考えられる。足関節底屈動作には解剖学的にアキレス腱が大きく関与する。PTは足関節底屈動作に関係する収縮要素（contractile component：CC）による影響が大きいが，EMDは力の伝達時間であるためCCに加えアキレス腱の直列弾性要素（series elastic component：SEC）の状態がEMDの時間を作用する要因になる。加齢によって足関節底屈時EMDが遅延するということは，アキレス腱のSECの機能的な低下（スラッグの増加やスティフネスの低下）が生じていることも推察される。

PMTにおいては，EMDと同様に加齢の影響を受ける結果となった。PMT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：即ち刺激の開始から筋のEMGが出現するまでの時間である。従って加齢によるPMTの遅延に関しては，当然のことながら筋の内部的な要因よりも錐体路や錐体路細胞および脳や脊髄などの

中枢神経機構の遅延（Kubota et al., 1979；笠井，1980）が大きく影響し，足関節底部感覚受容器の興奮から神経接合部までの神経伝達時間が加齢により遅延したためであると考えられる。また，錐体路や錐体路細胞による伝達時間の加齢の影響は大体10%程度であるとされている（Garuso et al., 1973）。これらのことから，若年者，前期高齢者，後期高齢者へと年齢ステージが進むにつれ，錐体路や錐体路細胞の老化も勿論のことながら，脳や脊髄などの中枢系の神経細胞の老化（Vaynman et al., 2004）もPMTの遅延に大きく影響していると考えられ，脳や脊髄神経系の老化が顕著化すれば，足関節までに伝達するPMTは当然大きく遅延していくと考えられる。

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。従って，TRTは一般的な評価に用いられる反応時間のことである。加齢に伴い足関節底屈のEMDおよびPMTが遅延することでTRTに遅延が生じれば，結果として突発的な外乱的負荷などの際の反応動作の遅延を引き起こす原因となる。さらに，それと共にPTの低下による「よちよち」や「すり足」歩き化現象も重なれば，突発的な外乱的付加などによるつまずき転倒のリスクも増加することが考えられる。

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，前期高齢者と後期高齢者との間において有意な差は見られなかった。これは，後期高齢者のPTが前期高齢者より低いことが原因として考えられ，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，筋出力が低い分，より早くPTに達するからと言える。しかし，後期高齢者はPTに到達するまでの時間は同じでもPTが低いということは，低い筋力にも関わらず力を立ち上げる時間を長く要していることも示唆できる。

以上，これらの結果から，加齢に伴い足関節底屈機能は低下することが明らかになり，この機能的低下は高齢者の歩行機能にも影響を及ぼす可能性が示唆された。また，これらの機能改善にはカーフレイズなどのエクササイズが有効的であると考えられ，足関節底屈機能の改善や歩行機能の向上を目的として，日常的に取り入れる必要性が重要であると考えられる。しかし，加齢による歩行の変化（歩行速度の低下，ストライドの減少）は動的安定性を高めることにも役立っているという報告（Patla, 1995）や筋力トレーニングが患者の動的安定性の改善には必ずしも効果的ではない（Haines, 1974）という報告もあり，機能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。

まとめ

本研究は、日常的に支援や介護を必要としない健康な女性高齢者を対象に、足関節底屈動作時のEMD、筋反応時間、筋出力の測定および歩行機能を測定し、前期高齢者と後期高齢者との比較から高齢者の足関節底屈機能と歩行機能の特性について検討し、以下のことが明らかとなった。

1. 歩行機能に関しては、歩行速度とストライドは、前期高齢者より後期高齢者が有意に劣っていたが、ピッチには有意な差が見られなかった。
2. 筋反応時間に関しては、EMD、PMT、TRTの値において、前期高齢者より後期高齢者がそれぞれ有意に劣っていた。しかしながら、MTPTには前期高齢者と後期高齢者間に有意な差は見られなかった。
3. 筋出力に関しては、前期高齢者に対して後期高齢者のPTが有意に低かった。
4. 歩行機能と反応時間および筋出力との関係は、全力歩行時のストライドとPTとの間に有意な相関関係が見られ、ストライドが大きいほど足関節底屈のPTが高かった。

以上のことより、加齢に伴い足関節底屈機能は低下することが明らかになり、この機能的低下は高齢者の歩行機能にも影響を及ぼす可能性が示唆され、足関節底屈機能の改善や歩行機能の向上を目的とした、日常的なエクササイズの実践の必要性が重要であると考えられた。

参考文献

Caruso, G., Labianca, O. and Ferrannini, Z. (1973) Effects of ischemia on sensory potentials of normal subjects of different ages. *J. Neurol. Neurosurg. Psych.*, 36, 455-466.

Cavanagh, P.R. and Komi, P.V. (1979) Electromechanical delay in human skeletal muscle under concentric and eccentric contractions. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 42 : 159-163.

福永哲夫 (2009) 貯筋のすすめ. *スポーツ科学研究*, 6, 50-54

Haines, R. P. (1974) Effect of bed rest and exercise on body balance. *J. Appl. Physiol.*, 36 : 323-327

Himann, J. E., D. A. Cunningham, P. A. Rechnitzer, and D. H. Paterson (1998) Age-related changes in speed of walking. *Med Sci Sports Exerc.*, 20 : 161-166

Kim, W. Y., O. Y. Kwon, H. S. Cynn, J. H. Weon, C. H. Ti and T. H. Kim (2011) Comparison of Toe

Plantar Flexors Strength and Balancing Ability between Elderly Fallers and Non-fallers. *J Phys Ther Sci.*, 23 : 123-132

Kubota, K. and 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

Murray MP, Spurr GB, Sepic SB, Gardner GM and Mollinger LA (1985) : Treadmill vs. floor walking : kinematics, electromyogram, and heart rate. *J Appl Physiol* 59 : 87-91

Nigg, B. M., Fischer, V. and Ronsky, J. L. (1994) Gait characteristics as a function of age and gender. *Gait Posture*. 2 : 213-220

Norrisa, J. A., K. P. Granataa, M. R. Mitrosb, E. M. Byrneb, and A. P. Marshb (2007) Effect of augmented plantarflexion power on preferred walking speed and economy in young and older adults. *Gait & posture*. 25 : 620-627

Patla, A. E. (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)

Sventesson, U., and G., Grimby. (1995) Stretch-shortening cycle during plantar flexion in young and elderly women and men. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 71 : 381-385

Vandervoort, A. A, and McComas, A. J. (1986) Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. *J Appl Physiol*. Jul; 61(1)36 : 1-7.

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, B. J., Wayne, S. J., Romero, L. J., Baumgartner, R. N., and Garry, P. J. (1998) Fear of falling and restriction of mobility in elderly fallers. *Age and Ageing*, 26 : 457-464