広島体育学研究　42：1 ～ 10，2016

〔原著〕

足関節可動域の制限が歩行動作に及ぼす影響

柳　川　和　優*
松　田　　亮*
磨　井　祥　夫**

Influence of Restriction of the Range of Motion in the Ankle Joint on Walking Pattern

Kazumasa YANAGAWA
(Department of Sport Business Administration, Faculty of economics, Hiroshima University of Economics)
Ryou MATSUDA
(Department of Sport Business Administration, Faculty of economics, Hiroshima University of Economics)
Sachio USUI
(Division of Behavioral Sciences, Faculty of Integrated Arts and Sciences, University of Hiroshima)

Abstract

The purpose of this study was to clarify the influence affecting walking movements during restriction of the range of motion in the ankle joint. Six healthy young men participated as the subjects in this study. The angle data of the right hip joint, knee joint and that of the ankle joint were analyzed synchronously with the image data of bare foot movements during free, slow, fast, and maximum speed walking with restriction (Taping group) and without restriction (Control group). The following results were obtained:

1. When the ankle joint was restricted by taping, it was found that at heel contact there was difficulty in raising the toe.
2. Free walking and walking within similar range of speeds showed variables with significant difference in the height of toe at heel contact, angular displacement of hip joint, angular displacement of knee joint, and angular displacement of ankle joint. In other words, in the Taping group, during heel contact there was difficulty in raising the toe, as well as a decrease in knee joint motion, and a tendency for a shorter step length and smaller walking ratio .
3. When the ankle joint movement was restricted by taping, all but one person showed a change of posture control strategy from an ankle joint strategy to a hip joint strategy.

From the above results, it can be inferred that a decrease in ankle joint function is related to a change of walking movements, and can be suggested that walking movements of young men resemble the walking movements of the elderly when the ankle joint is restricted.

* 広島経済大学経済学部スポーツ経営学科
** 広島大学総合科学部行動科学講座

Ⅰ．はじめに

加齢に伴い歩行能力は衰える。特に歩行速度は，高齢者の身体機能，健康度，平均余命などを総合的に最もよく代表する指標であると考えられている（Furuna et al., 1998）。この歩行速度は 60 歳頃から急速に低下し（Himann et al., 1988 ; Kaneko et al. 1991），その原因が主としてステップ長の減少にある（Nagasaki et al., 1996）ことが報告されている。その他の高齢者の歩容の特徴として，両脚支持時間の増大（山岸・徳田，1975；徳田，1977；高見・福井，1987；Ferrandez et al., 1990 ; Kaneko et al., 1990, 1991），歩隔の増大（高見・福井，1987；Kaneko et al., 1990），爪先開き角の増大（Murray et al., 1964），足指の遊脚期における挙上高の減少（Kaneko et al., 1991），股関節開脚角度の減少（Murray et al., 1969），スイング期の膝関節屈曲角度の減少（Murray et al., 1969），踵着地時における足関節背屈角度の減少（渡部ほか，1992），上体の上下動の減少と左右動の増加（Murray et al., 1969），骨盤の回転の減少（Murray et al., 1969），肩の前方への揺れと肘の後方への伸びの減少（Murray et al., 1969），上肢の運動範囲の減少（徳田，1977）など多くの変化が示されている。

加齢に伴う歩行能力低下の主な要因として，大腰筋の筋量の減少（金ほか，2000；金ほか，2001），膝伸展筋力の低下（伊東ほか，1985；淵本ほか，1999；福永，2000；金ほか，2000），足底屈・足背屈筋力の低下（Vandervoort and McComas 1986；淵本ほか，1999；福永，2000），バランス機能の低下（伊東ほか，1990），および関節可動域の低下（James and Parker, 1989；形本ほか，2000）などが報告されており，歩行能力の低下はこれらが複合的に絡み合ったものであると考えられる。その他の要因として，視覚の感受性の低下（Sekuler et al., 1980）や脳幹もしくは脊髄に存在すると考えられている歩行を誘発する中枢パターン発生器（Rossignol, 1996；中澤，1999）を含めた神経－筋系の機能低下（橋詰，2002）が歩行能力低下に関わっている可能性も否定できない。

以上のように，高齢者の歩容の特徴は，複数の要因が相互に複合的に影響しあった結果として現れていると考えられる。これらの要因は，加齢という共通因子により相互に関連しているので，特定の要因が歩容に及ぼす独自の影響についてはあまり検討されていない。Demura T and Demura S（2011）は，若年者を対象に，視覚と膝関節可動域を制限すると，歩行速度および歩幅が小さく，歩隔および足向角度が大きくなり，高齢者の歩容の特徴と類似していたと報告している。つまり，視覚あるいは膝関節機能の低下単独の影響が歩容に現れたことを示している。では，足関節可動域を制限した場合，歩容に同様の影響が現れるであろうか。

関節可動域の低下に関して，James and Parker（1989）は，下肢 10 個所の関節可動域を調べた結果，加齢にともなう可動域の低下が最も著しいのは，足関節における背屈・底屈であることを示した。さらに，高齢者の姿勢制御戦略の特徴として，足関節優位の姿勢制御が困難になり，股関節優位の姿勢制御戦略を用いるようになることが知られている（Horak et al., 1989a ; Manchester et al., 1989）。これらの報告から，足関節の機能低下と歩容の変化に関して，何らかの関連があると推察される。

これらの背景により，「若年者の足関節可動域を制限すると，高齢者の歩行動作に近づく」という仮説を立てた。したがって本研究の目的は，高齢者が歩行能力を維持するためには，足関節の可動域を大きく保つことが重要であると考え，足関節可動域の制限が歩行動作に及ぼす影響を明らかにすることとした。

Ⅱ．方法

A．被検者

被検者は，健常な若年者（21 ～ 23 歳）男子 6 名であった。被検者の身体的特徴は，年齢；22.0 ±0.6 歳（mean±SD, 以下同様），身長；176.1±5.6cm,

体重；69.7±9.1kg，体脂肪率；13.1±3.8％であった。

B．実験手順

実験室内に長さ12mの歩行路を設置し，歩行路上での歩行に十分慣れた後に測定を行った。歩行は，自由歩行，遅歩行，速歩行，最大速度歩行の４条件とした。被検者への速度の指示は，自由歩行は「速くも遅くもない普通の速度で」，遅歩行は「やや遅く」，速歩行は「やや速く」，最大速度歩行は「できるだけ速く」とした。足関節固定については，固定なしのControl群（C群）とテーピングで固定したTaping群（T群）の２群とした。なお，テーピングでの固定は，足関節捻挫直後に応急処置として行う一般的な方法を用いた。すべての被検者は，C群およびT群の２条件において４種類の速度での歩行を各３回行った。各変量におけるデータ数は６人×３試行＝18試行とした。ただし，股関節角度範囲は，１名の被検者において正確に測定できなかったため，C群，T群ともに５人×３試行＝15試行とした。すべての歩行は裸足で行い，テーピングにより制限した足関節角度（背屈，底屈）の測定は，歩行実験開始時に行った。

被検者の右脚に装着したゴニオメータ［バイオメトリクス社製：SG150型（股・膝関節），SG110/A型（足関節）］による関節角度をサンプリング周波数１kHzで記録した。被検者の踵部位（左右の踵骨突起）と右足親指の爪先部に反射マーカーを貼り付け，右側方より毎秒60コマ，シャッター速度１/500秒でビデオ撮影（Panasonic 製：NV-GS400）をした。

これらの測定データから以下の変量を算出した。定常歩行中の１ストライド長と１ストライド時間をビデオ画像データにより測定し，これらの値から歩行速度，ステップ長，歩調を算出した。また，踵着地時の爪先高は踵着地時の画像データから算出した。足関節，膝関節，股関節の角度変位は，ゴニオメータデータにより算出した。

C．統計処理

各歩行変量における足関節固定の影響については，歩行速度および固定の有無を固定因子とし，被検者を変量因子とする３要因分散分析を行い，歩行速度と固定状態の交互作用が有意である場合は，歩行速度ごとに固定状態と被検者を因子とする２要因分散分析を行った。自由歩行および同一速度歩行でのC群とT群の差の検定は，固定状態を固定因子とし，被検者を変量因子とする２要因分散分析を行った。なお，有意水準は５％未満とし，統計解析はIBM SPSS Statistics ver. 20を用いた。

Ⅲ．結果

表１は，足関節を固定しなかった場合（C群）と足関節をテーピングにより固定した場合（T群）の背屈角度，底屈角度を示したものである。テーピングで固定することにより，足関節の背屈角度，底屈角度は有意に小さくなった。

表１．足関節角度の比較

	右足		左足	
	背屈角度 (deg)	底屈角度 (deg)	背屈角度 (deg)	底屈角度 (deg)
固定なし(C群)	17.7 (±1.9)	51.7 (±5.9)	17.8 (±2.0)	52.2 (±6.0)
固定あり(T群)	7.9 (±1.0)	23.2 (±6.2)	8.3 (±1.6)	22.8 (±8.0)
有意水準	p<0.01	p<0.01	p<0.01	p<0.01

＊静止立位時を0°とした　　mean (±SD)

A．歩行速度別に見た各変量の比較

遅歩行（Slow），自由歩行（Free），速歩行（Fast），最大速度歩行（Max）におけるＣ群とＴ群の比較を図１に示した。遅歩行，自由歩行，速歩行，最大速度歩行時の足関節角度範囲（図 1-H）と最大速度歩行時の爪先高（図 1-E）において有意にＴ群の値が小さかった（$p<0.05$）。

B．自由歩行中と同一速度歩行中における各変量の比較

本研究においては，自然な歩行である自由歩行のみならず，速度の影響を除くために同一速度歩

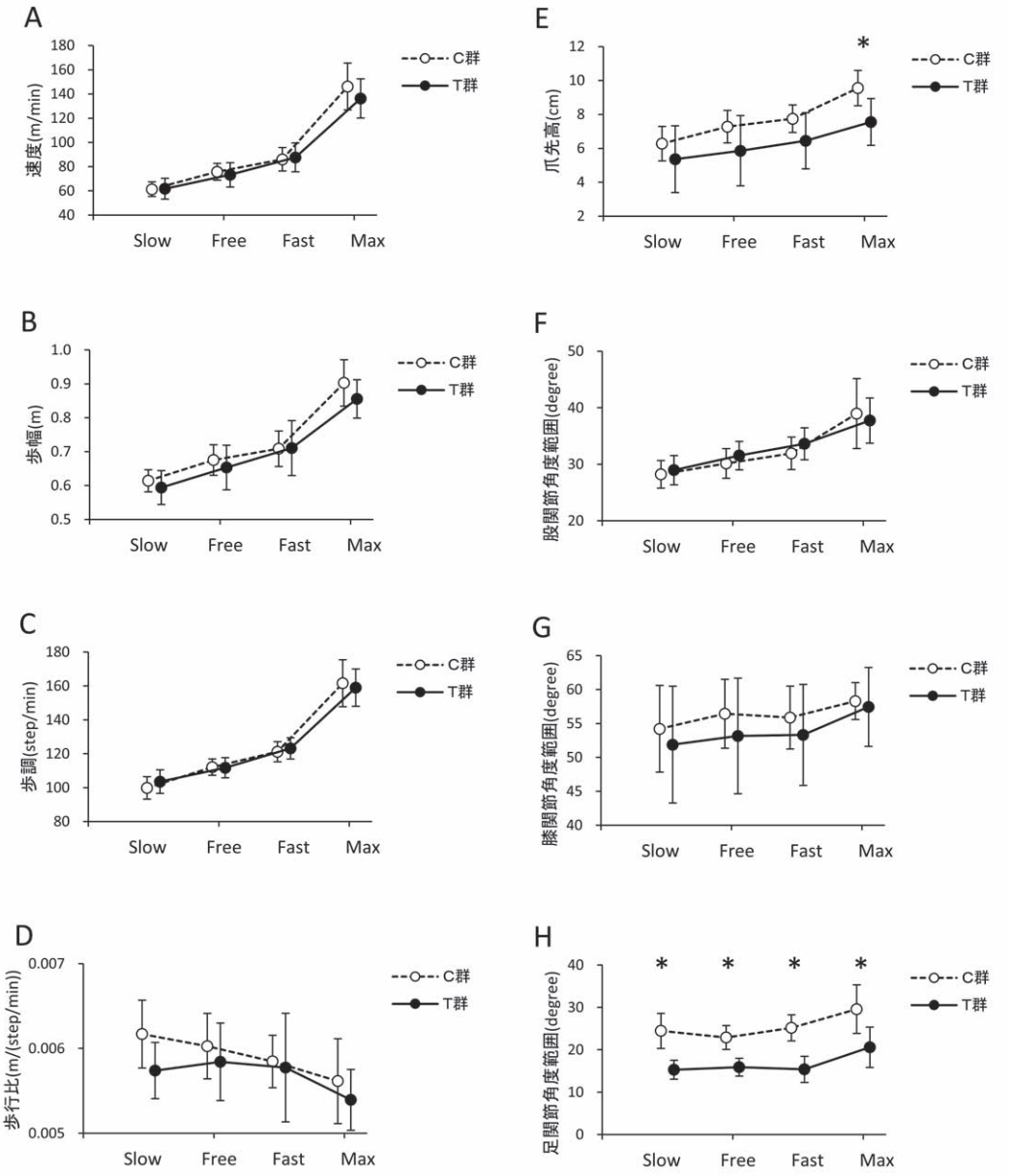

図１．歩行速度別に見た各変量の比較

行での比較を行った。表２は，Ｃ群およびＴ群の自由，遅，速，最大速度歩行のすべての試行を対象とした歩行速度の度数分布を示したものである。同一速度歩行の選別については柳川ほか（2002, 2003）の方法で行い，両群に多くのデータが含まれる歩行速度が 55～85m/min の歩行を採用した。同一速度歩行中の速度は，両群間に有意差は認められなかった。

図２は，自由歩行中と同一速度歩行中における２群間の各測定値（mean±SD）を示したものである。自由歩行時のデータ数は，６人×３試行＝18 試行（ただし，股関節角度範囲は５人×３試行＝15 試行），同一速度歩行時のデータ数は，速度が 55-85m/min を満たす試行なので変量により異なる。

自由歩行中および同一歩行中においてほとんどの変量はＴ群において減少傾向を示した。逆に，Ｔ群の増大傾向が認められたのは，自由歩行中および同一歩行中の股関節角度範囲と同一歩行中の歩調であった。

Ｃ．足関節角度と股関節角度の関連

図３は，同一速度歩行時の各被検者におけるＣ群およびＴ群の平均値を代表値とし，Ｃ群からＴ群へのテーピング固定効果を矢印で示したものである。テーピングにより足関節可動域が制限された時に，股関節角度範囲を大きくする被検者が３名，逆に小さくする被検者が１名，ほとんど変わらない被検者が１名であった。

Ⅳ．考察

本研究は，足関節固定単独の影響を調べるために，足関節固定なしのＣ群と足関節をテーピングで固定したＴ群による比較を行った。このＣ群とＴ群の差が足関節固定による影響を示すと考えられる。まず，歩行速度別に比較し，次に，自由歩行中と同一速度歩行中の比較を行った。

Ａ．歩行速度別に見た特徴

遅歩行（Slow），自由歩行（Free），速歩行（Fast），最大速度歩行（Max）における各変量を比較すると，遅歩行，自由歩行，速歩行，最大速度歩行時

表２．歩行速度の度数分布

歩行速度 (m/min)	度数 (Ｃ群)	遅,自由,速,最大	度数 (Ｔ群)	遅,自由,速,最大	度数 (計)
35～	0	(0, 0, 0, 0)	0	(0, 0, 0, 0)	0
45～	3	(0, 3, 0, 0)	5	(4, 1, 0, 0)	8
55～	11	(11, 0, 0, 0)	11	(6, 4, 1, 0)	22
65～	15	(4, 8, 3, 0)	9	(7, 1, 1, 0)	24
75～	12	(0, 8, 4, 0)	17	(1,12, 4, 0)	29
85～	10	(0, 2, 8, 0)	9	(0, 0, 9, 0)	19
95～	3	(0, 0, 3, 0)	2	(0, 0, 2, 0)	5
105～	2	(0, 0, 0, 2)	3	(0, 0, 1, 2)	5
115～	0	(0, 0, 0, 0)	2	(0, 0, 0, 2)	2
125～	1	(0, 0, 0, 1)	6	(0, 0, 0, 6)	7
135～	5	(0, 0, 0, 5)	2	(0, 0, 0, 2)	7
145～	3	(0, 0, 0, 3)	1	(0, 0, 0, 1)	4
155～	4	(0, 0, 0, 4)	5	(0, 0, 0, 5)	9
165～	2	(0, 0, 0, 2)	0	(0, 0, 0, 0)	2
175～	1	(0, 0, 0, 1)	0	(0, 0, 0, 0)	1
合計	72		72		144

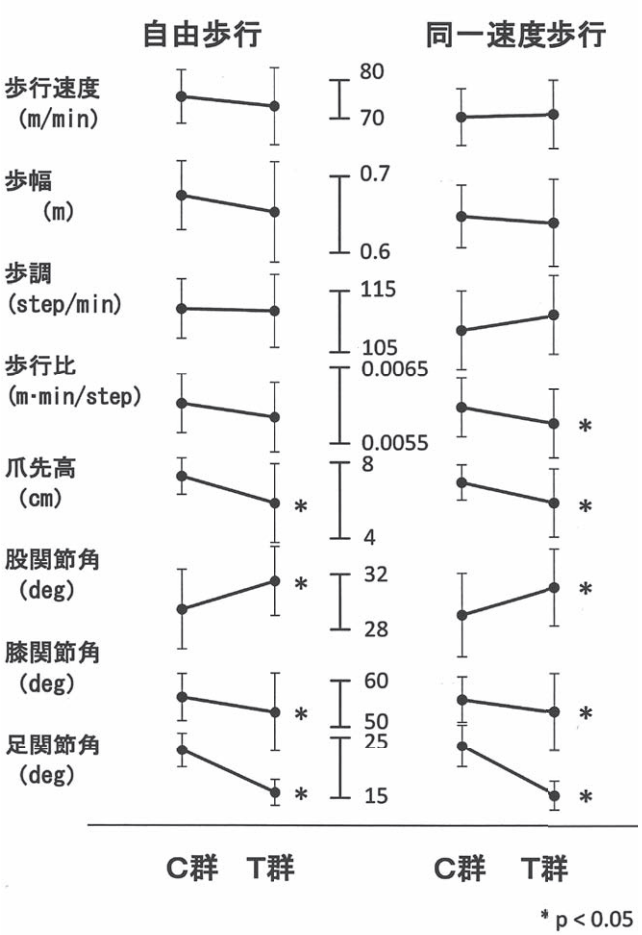

図２．自由歩行中と同一速度歩行中における各変量の比較

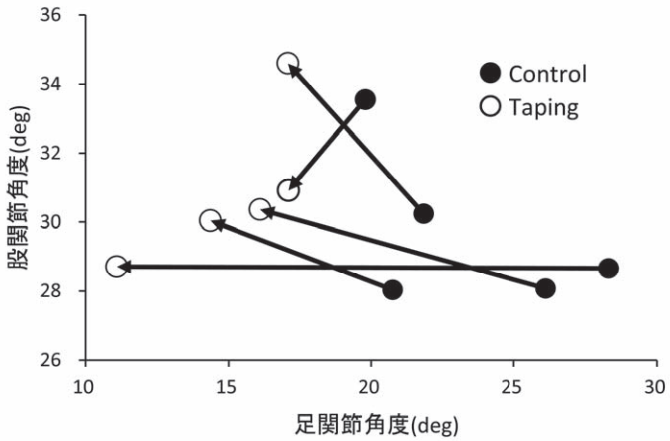

図３．足関節角度と股関節角度の関連

の足関節角度範囲（図1-H）と最大速度歩行時の爪先高（図1-E）において有意にT群の値が小さかった（$p<0.05$）。

テーピングにより足関節可動域を制限した結果，各歩行速度における足関節の角度範囲は小さくなったわけである。一方，C群とT群における各歩行速度には有意差は認められていない（図1-A）。にもかかわらず，各歩行速度における爪先高はT群において小さくなる傾向にあり，最大速度歩行においては有意に小さかった（図1-E）。このことにより，テーピングにより足関節可動域を制限すると踵着地時に爪先が上がりにくくなることが示唆された。

B．自由歩行中と同一速度歩行中における特徴

これまでに報告された高齢者の歩行動作に関する研究は数多く，若年者との比較からさまざまな特徴が報告されており，速度の異なる歩行に関して比較検討した研究が多い。しかしながら，歩行速度の遅い高齢者の歩容は，速度が遅いことだけでさまざまな特徴を説明できる可能性がある。Ferrandez et al.（1990）はこのことに注目し，歩行速度が同じならば高齢者の歩行動作は若年者と変わらないと報告している。つまり，若年者と高齢者の歩行動作の差異は，歩行速度の違いのみに起因する可能性があることを示唆している。そこで本研究では，若年者と高齢者の比較において自由歩行で差が認められ，かつ同一速度歩行においても差が認められる変数が高齢者の本質的な特徴を示すと考えて分析を行った。

自由歩行中と同一速度歩行中における2群間の各測定値（mean±SD）を図2に示した。自由歩行中および同一速度歩行中の各変量が，C群からT群へと減少していれば，足関節の固定により高齢者の歩行に近づいたことになる。自由歩行中および同一歩行中においてほとんどの変量はT群において減少傾向が認められた。その中で，自由歩行中および同一歩行中の股関節角度範囲と同一歩行中の歩調においてのみT群において増大傾向が認められた。速度は歩幅と歩調の関で決まるため，同一速度歩行においてC群よりT群の歩調が大きくなったのは歩幅が小さくなったことによるものである。

柳川ほか（2003）は，自由歩行中，同一速度歩行中ともに両群間に有意差が認められた変量が高齢者の歩行動作の特徴を示していると報告している。すなわち高齢者は，歩幅と歩行比が小さく，スイング速度が遅く，踵着地時に爪先が上がらず（足関節の背屈程度が小さく），膝関節の動作域が小さく，体幹をあまり動かさずに歩いていることを示した。

本研究において，自由歩行中，同一速度歩行中ともに両群間に有意差が認められた変量は，踵着地時の爪先高，股関節角度範囲，膝関節角度範囲，足関節角度範囲であった。さらに，自由歩行中，同一速度歩行中ともに歩幅と歩行比はT群において減少傾向が認められた。以上のことにより，T群において踵着地時に爪先が上がらず，膝関節の動作域が小さくなることが示され，歩幅と歩行比を小さくして歩く傾向が認められた。したがって，足関節を固定すると若者の歩行動作は高齢者に近づくことが示唆された。

一方，股関節角度範囲のみ，自由歩行中および同一速度歩行中のT群において増加傾向が認められた。足関節の角度範囲を制限された分だけ，股関節の運動範囲を広げたのであろうか。このことを検討するために，足関節角度と股関節角度の関連を図3に示した。その結果，足関節角度範囲の減少により股関節角度範囲は3名が増加し，1名は減少した。データ数が少ないので明確な結論を示すことはできないが，足関節固定により股関節角度範囲が増加した理由は次のように考えることができる。

高齢者の姿勢制御戦略の特徴として，足関節優位の姿勢制御が困難になり，股関節優位の姿勢制御戦略を用いるようになること（Horak et al., 1989a ; Manchester et al., 1989）や，姿勢の不安定な高齢者は，足関節戦略を効果的に用いることができず，ほとんどの重心移動に対し股関節戦略かステッピング戦略を利用すること（Horak et

al., 1989b）が知られている。このストラテジーの変化が足関節可動範囲の減少に因るのであれば，それと同じことが本実験の若年者に現れたと考えることができる。

本研究の結果，T群において踵着地時に爪先が上がらず，膝関節の動作域が小さくなることが示され，歩幅と歩行比を小さくして歩く傾向が認められた。さらには，個人差はあるが，テーピングにより足関節可動域が制限されると，股関節の運動範囲を増加することで安定した歩行動作を維持しようとする可能性も否定できなかった。

以上のことから，足関節の機能低下と歩容の変化に関して関連があると推察でき，足関節を固定すると若年者の歩行動作は高齢者に近づくことが示唆された。このことにより，高齢者における歩行能力低下の防止策として，足関節の柔軟性を維持することの重要性を強調することができる。

Ⅴ．まとめ

本研究では，足関節可動域の制限が歩行動作に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。健常な若年者６名を対象とし，右脚股関節，膝関節，足関節の角度データ，および，側方から撮影した映像データを同期させ，裸足による足関節可動域を制限しない自由歩行，遅歩行，速歩行，最大速度歩行と足関節可動域をテーピングにより制限した同様の４種類の速度での歩行動作を分析した。その結果，以下のことが明らかとなった。

1）テーピングにより足関節可動域を制限すると踵着地時に爪先が上がりにくくなることが示唆された。

2）自由歩行中，同一速度歩行中ともに両群間に有意差が認められた変量は，踵着地時の爪先高，股関節角度範囲，膝関節角度範囲，足関節角度範囲であった。すなわち，T群において踵着地時に爪先が上がらず，膝関節の動作域が小さくなることが示され，歩幅と歩行比を小さくして歩く傾向が認められた。

3）１名の例外を除いて，テーピングにより足関節可動域が制限されると，姿勢制御戦略を足関節ストラテジーから股関節ストラテジーに変更している可能性が認められた。

以上のことにより，足関節の機能低下と歩容の変化に関して関連があると推察でき，足関節を固定すると若年者の歩行動作は高齢者に近づくことが示唆された。

文献

Demura T and Demura S (2011) Influence of Restricted Vision and Knee Joint Range of Motion on Gait Properties During Level Walking and Stair Ascent and Descent. J Mot Behav, 43 : 445–450.

Ferrandez AM, Pailhous J, Durup M (1990) Slowness in elderly gait. Exp Aging Res 16 : 79–89.

淵本隆文・加藤浩人・金子公宥（1999）高齢者の歩行能力に関する体力的・動作学的研究（第２報）－膝伸展，足底屈，足背屈の筋力と歩行能力の関係－．体育科学，28：108–115.

福永哲夫（2000）中高年者の筋量と筋力．体育の科学，50(11)：864–870.

Furuna T, Nagasaki H, Nishizawa S, Sugiura M, Okuzumi H, Ito H, Kinugasa T, Hashizume K, Maruyama H (1998) Longitudinal change in the physical performance of older adults in the community. J Jpn Phy Ther Assoc 1 : 1–5

橋詰謙（2002）：筋と神経の老化．体育の科学，52(8)：608–611.

Himann JE, Cunningham DA, Rechnitzer PA, Paterson DH (1988) Age-related changes in speed of walking. Med Sci Sports Exerc 20 : 161–166.

Horak FB, Diener HC, Nashner LM. (1989a) Influence of central set on human postural responses. J Neurophysiol, 62(4) : 841–53.

Horak FB, Shupert CL, Mirka A (1989b) Components of postural dyscontrol in the elderly: A review. Neurobiology of Aging 10(6) : 727–738.

伊東元・橋詰謙・斉藤宏・中村隆一（1985）大腿四頭筋機能と歩行能力の関係．リハビリテーション医学，22：164-165.

伊東元・長崎浩・丸山仁司・橋詰謙・中村隆一（1990）健常老年者における最大歩行速度低下の決定因－重心動揺と歩行率の関連－．理学療法学，17（2）：123-125.

James B and Parker AW (1989) Active and passive mobility of lower limb joints in elderly men and women. Am J Phys Med Rehab 68(4) : 162-167.

Kaneko M, Fuchimoto K, Fuchimoto T, Morimoto Y, Kimura M, Kitamura T, Tsutsui Y, Arita T (1990) Biomechanical analysis of walking and fitness testing in elderly woman. In Fitness for the Aged, Disabled, and Industrial Worker. Kaneko M, ed., 84-89, Human Kinetics Pub.

Kaneko M, Morimoto Y, Kimura M, Fuchimoto K, Fuchimoto T (1991) A kinematic analysis of walking and physical fitness testing in elderly woman. Can J Sports Sci 16(3) : 223-228.

形本静夫・青木純一郎・石原啓次・畑中恵子（2000）柔軟性が高齢者における歩行の経済性に及ぼす影響．体育科学，29：83-90.

金俊東・久野譜也・相馬りか・増田和実・足立和隆・西嶋尚彦・石津正雄・岡田守彦（2000）加齢による下肢筋量の低下が歩行能力に及ぼす影響．体力科学，49（5）：589-596.

金俊東・大島利夫・馬場紫乃・安田俊広・足立和隆・勝田茂・岡田守彦・久野譜也（2001）長期間トレーニングを継続している高齢アスリートの筋量と歩行能力の特徴．体力科学．50（1）：149-158.

Manchester D, Woollacott M, Zederbauer-Hylton N, Marin O. (1989) Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult. J Gerontol, 44(4) : M118-27.

Murray MP, Drought AB, Kory RC (1964) Walking patterns of normal men. J Bone Joint Surg 46A(2) : 335-360.

Murray MP, Kory RC, Clarkson BH (1969) Walking patterns in healthy old men. J Gerontol 24 : 169-178.

Nagasaki H, Itoh H, Hashizume K, Furuna T (1996) Walking patterns and finger rhythm of older adults. Perceptual and Motor Skills 82 : 435-447.

中澤公孝（1999）ヒト脊髄の歩行発生能力とその可塑性．バイオメカニクス研究，3（3）：195-200.

Rossignol S (1996) Neural control of stereotypic limb movements, In Handbook of Physiology, Sec12, Exercise, regulation and integration of multiple systems. Rowell LB and Shepherd JT, eds, 173-216, Oxford University Press.

Sekuler R, Hutman L, Owsley C (1980) Human aging and spatial vision. Science 209 : 1255-1256.

高見政利・福井圀彦（1987）床反力計による健常者歩行の研究－特に年齢および性別の違いについて－．リハビリテーション医学，24：93-101.

徳田哲男（1977）老人の歩行．人間工学，13（5）：219-222.

Vandervoort AA and McComas J (1986) Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. J Appl Physiol, 61（1）: 361-367.

渡部和彦・塩川満久・宮川健（1992）高齢者の歩行調整機能に関する研究Ⅰ－トレッドミル上での着地局面における足部の姿勢に着目－．体育科学，20：104-109.

山岸豪・徳田哲男（1975）老人歩行－光学的分析による－．リハビリテーション医学，12（2）：97-104.

柳川和優・磨井祥夫・山口立雄・渡部和彦（2002）筋放電パターンからみた高齢者における歩行動作の特徴．日本運動生理学雑誌，9（1）：33-45.

柳川和優・磨井祥夫・山口立雄・渡部和彦（2003）

若年者と高齢者における歩行動作の比較－歩行
速度に着目して－．バイオメカニクス研究，7
(3)：179-192.