京都大学医学部保健学科紀要
健康科学　第4巻　2007

原　著

高齢者における足底感覚と足圧分布および足底接地状態が立位バランス能力に与える影響

建内　宏重，市橋　則明

Influence of Plantar Sensation, Plantar Pressure, and Ground Contact Condition of the Sole on Standing Balance in the Elderly

Hiroshige Tateuchi and Noriaki Ichihashi

Abstract : The purpose of this study was to examine the relationships among plantar sensation, plantar pressure and standing balance in the institutionalized elderly. Twelve subjects aged 83.6±6.4 years (5 males, 7 females) participated in this examination. Plantar sensory thresholds were assessed using Semmes-Weinstein monofilaments at twelve locations ; the heel, midfoot (medial, middle and lateral), forefoot (medial, middle and lateral) and five toes. The ground contact area of the sole and the location of the maximum plantar pressure and noncontact region were evaluated from the recording of the plantar pressure distributions while standing. As balance measurements, path length of the center of pressure (LNG) and root mean square area during standing and functional reach test were evaluated. The locations of the maximum plantar pressure were heel (7 subjects), middle forefoot (3 subjects), medial forefoot (1 subject) and hallux (1 subject). The noncontact regions excluding the medial midfoot were toes (11 subjects), middle midfoot (5 subjects), and lateral midfoot (3 subjects). It was showed a tendency that the location of the maximum plantar pressure had high sensory threshold, and the noncontact region had low sensory threshold, respectively. Plantar sensory threshold were significant correlated with LNG (r=0.63) and functional reach (r=−0.83). Ground contact area of the sole was also significant correlated with LNG (r=−0.68) and functional reach (r=0.59). This study demonstrates that planter sensation and the ground contact area of the sole are important factors associated with standing balance in the elderly.

Key words : 高齢者，足底感覚，足圧分布，バランス

はじめに

ヒトが立位で姿勢の調節や動作を行う上で，視覚系，前庭迷路系，体性感覚系からの情報入力は重要な役割を果たしている[1)]。特に，立位で唯一床面と接している足底部の感覚は，足関節による力発揮の程度や両下肢間での荷重配分，床面の材質などの情報を上位中枢にフィードバックする役割があるとされており[2)]，立位でのバランス能力と関連が深いことが数多く報告されている[3~8)]。

しかし，体性感覚は加齢により対数的に低下し[9,10)]，その原因は感覚受容器の形態変化や数の減少，皮膚の弾性の低下，神経伝導速度の低下などによるとされている[11)]。それら体制感覚の低下にともなって，立位バランスにおける制御戦略も加齢とともに体性感覚優位から視覚優位へと推移していくとする報告があり[12,13)]，足部に着目し転倒のリスクファクターを調査した前向き研究においても，足関節の柔軟性や外反母趾変形，足趾の屈曲筋力とともに，足底感覚は転倒者で優位に低下していたと報告されている[14)]。したがって，高齢者における足底感覚とバランス能力との関連性を調査することは重要であり，高齢者のバランス能力改善を目的とした介入に際して重要な情報を得ることができると考える。

一方，足底感覚を提供する足底面に目を向けると，高齢者では足趾など足底面の一部が接地していないことが多く観察される[15~17)]。このことは即ち支持基底面が狭小化していることを示唆しており，足底面の接地状態も立位でのバランスに大きく関係していることが予測される。また，足底と床面との接触面積が変化するということは，足底が床面から受ける圧力の分布

京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻
〒606-8507 京都市左京区聖護院川原町53
Human Health Science, Graduate School of Medicine, Kyoto University
受稿日　2007年11月4日
受理日　2008年1月23日

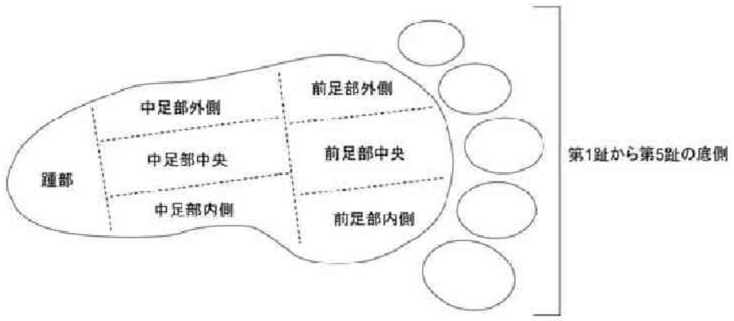

図１　足底感覚閾値の評価部位

である足圧分布も必然的に変化すると考えられる。その上，足圧分布は足底感覚とも密接な関係にあることが報告されている。足底部の感覚を麻酔あるいは冷却などの方法によって人為的に変化させると，足圧分布がそれに対応して変化することが立位または歩行において実験的に確認されている[18~21]。

このように，足底感覚の変化と足底接地状態および足圧分布の変化は相互に強く関連していることが推察され[22]，それらの相互作用が立位バランスに影響を与えていると考えられるが，そのような観点から総合的に解析された報告はほとんどない。

本研究の目的は，足底感覚と足底接地状態および足圧分布の関連性を調べること，およびそれらが高齢者の静的および動的バランスに与える影響を明らかにすることである。

方　　法

１．対　象

対象は，ケアハウスに入所しており本研究に同意を得た高齢者12名（平均年齢：83.6±6.4歳，男性５名，女性７名）とした。なお，明らかな神経学的疾患や高度の認知障害を有する者，および支持なしでは立位保持が困難な者は対象から除外した。

２．測　定

１）足底感覚の測定

足底感覚の測定には，感覚検査に用いられ簡便に定量的評価が可能な Semmes-Weinstein Monofilaments の５本セット（0.0677～477 g）を用いた。対象者は閉眼し，足底面に垂直に押し当てられたフィラメントの刺激を知覚できたら合図をするように指示した。明らかに知覚できる強さのフィラメントから開始して圧の低いフィラメントへと移行し，５段階で感覚閾値を測定した。測定部位は第１～５趾の底側，前足部の内側・中央・外側，中足部の内側・中央・外側，踵部の計12部位とした（図１）。

２）足圧分布および足底接地状態の測定

足圧分布測定装置（Medicapteurs 社製 Win-Pod）を用いて開眼静止立位を20秒保持した際の平均足圧分布を測定した。足幅や足角は任意とできるだけ自然な立位を保持するように指示した。最大圧部位，接地していない部位および足底接地面積を求めた。最大圧部位および接地していない部位については，足底感覚測定と同じ12部位を基準とした。なお，足底接地面積は各対象者の足部縦幅（踵中央と第２趾先端との距離）と横幅（第１中足骨頭と５中足骨頭との距離）との積を用いて標準化した。

３）バランス能力の測定

静的バランスの測定には重心動揺計（Anima 社製 Gravicorder G-5500）を使用し，開眼閉脚立位を20秒間保持した際の実効値面積と総軌跡長を求めた。動的バランス測定としてファンクショナルリーチを測定した。ファンクショナルリーチの測定は，両足を自然に開いた直立位から利き手側上肢を肩関節の高さまで前方に挙上させ，できるだけ手を前方に伸ばした時点での水平移動距離を測定した。なお，ファンクショナルリーチは身長を用いて標準化した。

３．解　析

データの解析は以下の各項目について行った。

1）足底各部における感覚閾値の違い（Kruskal-Wallis test），2）足圧分布および足底接地状態の評価（最大圧部位，接地していない部位），3）最大圧部位および接地していない部位（接地していない部位が複数の場合はその中央値）の感覚閾値（Wilcoxon's signed rank test），4）足底感覚閾値（全測定部位の中央値），足底接地面積，バランス能力および年齢の各

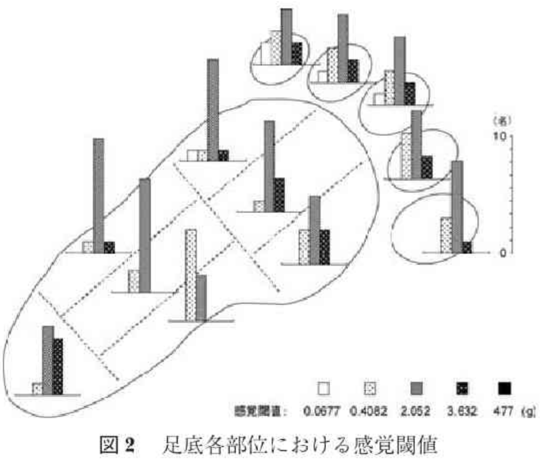

図２　足底各部位における感覚閾値

表1　全例における足圧分布と足底接地状態

対象者 No.	年齢	性別	最大荷重部位	接地していない部位*
1	83	F	前足部内側	第5趾
2	91	F	踵部	第4，5趾
3	75	M	第1趾	第5趾
47	6	F	前足部中央	第5趾
59	3	F	踵部	第1趾，中足部中央
68	7	M	前足部中央	第2～5趾，中足部中央，中足部外側
7	83	M	前足部中央	中足部中央
8	89	M	踵部	第2～5趾
9	83	M	踵部	第4，5趾，中足部中央，中足部外側
10	78	F	踵部	第4，5趾，中足部中央，中足部外側
11	81	F	踵部	第3～5趾
12	90	F	踵部	第4，5趾

*：全例，中足部内側は接地していなかった

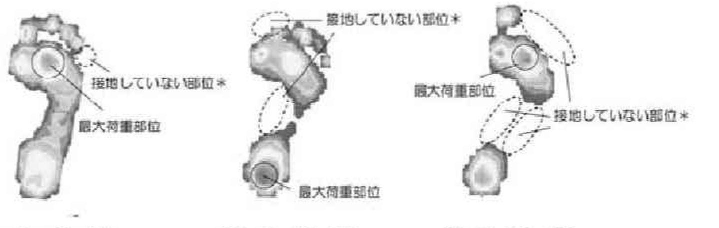

図3　足底接地状態と足圧分布の例

変数間の相関関係（Spearman の順位相関係数）

結　　果

1. 足底各部における感覚閾値を図2に示す。統計学的有意差に認められなかったが，踵部では閾値が高く，中足部内側および外側の足趾で閾値は低い傾向にあった。

2. 最大圧部位は踵部7名，前足部中央3名，前足部内側1名，第1趾1名であった。全例において足底の接地不良が認められ，接地していない部位は中足部内側が12名，その他の部位は足趾が11名，中足部中央が5名，中足部外側が3名であった（表1，図3）。

3. 最大圧部位の感覚閾値は，全測定部位の中央値よりも高値（7名）もしくは等値（5名）を示した。接地していない部位は，全測定部位の中央値よりも低値（9名）もしくは等値（2名）を示し，高値を示す者も1名認められた。最大圧部位と接地していない部位の感覚閾値を比較すると，最大圧部位のほうが有意に感覚閾値は高かった。

4. 年齢は総軌跡長とのみ有意な相関を認めた（r＝0.59）。足底感覚閾値と総軌跡長（r＝0.63，図4-A），足底接地面積と総軌跡長（r＝－0.68，図4-B）に有意な相関を認めた。また，足底感覚閾値（r＝－0.83，図4-C）および足底接地面積（r＝0.59，図4-D）はファンクショナルリーチとも有意な相関を認めた。

考　　察

立位での足底接地状態を調査した先行研究によると，いずれかの足趾が接地していない割合は，5～78歳の健常成人で約2/3[15]，16～49歳の健常成人のうち男性で66.0%，女性で76.2%[16]とする報告がある一方で，65歳以上の健常高齢者でも18.3%であったとする調査結果もある[17]。これら調査結果のばらつきは，足趾接地状態の判定方法の違いや測定機器の相違により生じていると考えられる。本研究では，足圧分布を詳細に解析することができる装置を用いて，平均年齢が84歳とさらに高齢の対象者を調査した結果，いずれかの足趾が接地していない者が12名中11名（91.7%）存在し，過去の報告よりもさらに高い割合で接地状態が悪化していることが示された。

最大圧部位は踵部が最も多かったが，前足部あるいは第1趾が最大荷重部である対象者も数名確認された。足底圧は足部・足趾のアライメントや可動性との関連性があり，第1趾底側の圧には第1趾 MTP 関節の可動域や外反母趾変形の程度が関連していることが報告されている[23, 24]。したがって，本研究の対象者においても足趾や足部の変形あるいは可動域制限を有する者が特有の足圧分布を示した可能性があると思われ，今後検討すべき課題である。

足底感覚と足圧分布との関連について，Nurse[20]

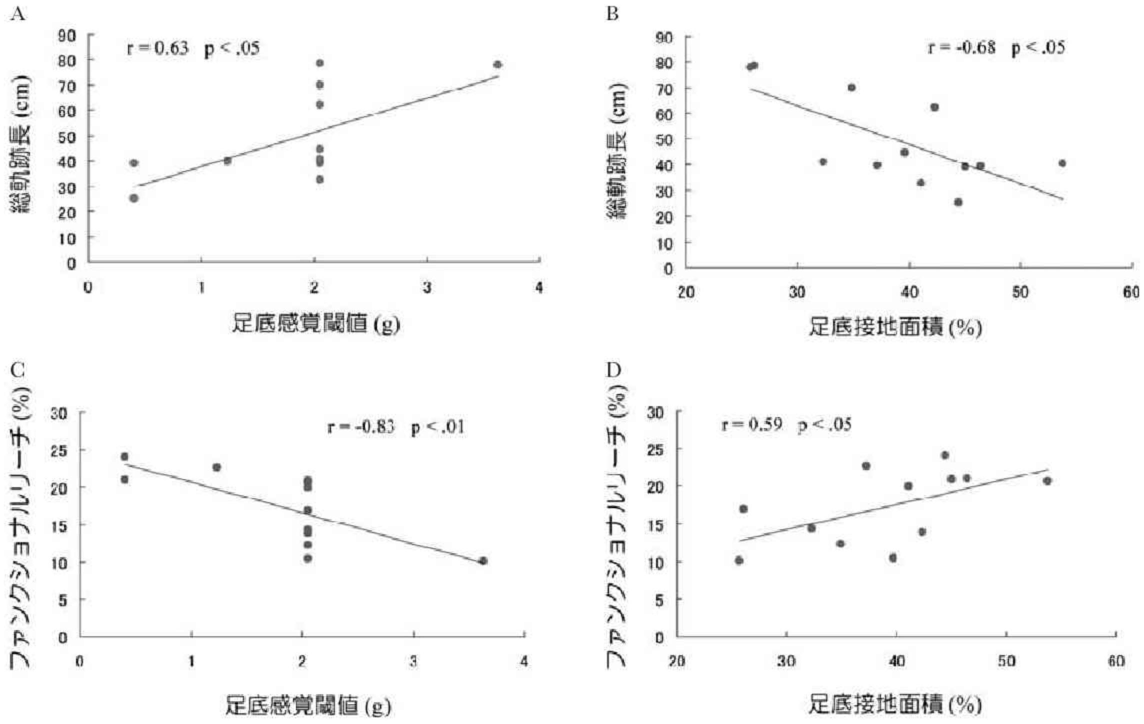

図4 足底感覚閾値および足底接地面積とバランス能力との関連性

らは健常者の足底部を部分的に冷却し歩行時の足底圧を測定した結果，感覚閾値の高い部位では足底圧が減少することを報告している。また，Hämäläinen[25]らは実際に足底の一部に感覚障害を有した患者において，立位時の足底圧が感覚閾値の低い部位へと移動することを示している。これらの報告は，足底感覚閾値が高い部位から低い部位へと足底圧が変化する現象がみられる点で一致している。しかし本研究では，踵部など感覚閾値の高い部位では圧が高く，足趾など閾値が低い部位では圧が低いもしくは接地していない傾向がみられた。この結果は，足底圧の偏りが足底感覚閾値の変化によって引き起こされていないことを示唆している。つまり，加齢による姿勢アライメントの変化などにより足底圧が変位し，その結果として常に刺激を受けている部位の感覚閾値が高くなっていると推察することができる。

足底への荷重刺激の継続は胼胝の形成など足の問題を引き起こす。62歳以上の高齢者を対象としたMenz[26]らの報告では，対象者の52％において1箇所以上の胼胝が確認されており，母趾や第2～4中足骨頭部に胼胝があるとその部位での歩行時足底圧が高い傾向にあることが示されている。また姫野ら[27]は，75歳以上の後期高齢者を対象とした調査で，3割に胼胝が確認され転倒経験があるものでは胼胝を有する割合が高かったと報告している。しかし興味深いことには，胼胝を除去するとその部位の足底圧が減少するという報告がある[28, 29]。このことは即ち，刺激の強い部位に胼胝が形成される一方で，一旦胼胝が形成されるとその付属物を介して情報を得ようとするためにさらに足底圧を増加させるという循環が形成されていることを窺わせる。したがって，本研究で対象とした高齢者においても，足底圧が特定の領域に集中している場合には，当該部位の感覚閾値の上昇や胼胝の形成とともにさらなる足底圧の増加を引き起こす危険性があり，フットケアの観点からも足圧分布の評価は重要であると考える。

このように，足底感覚と足圧分布との関連性が示唆されたことにより，機器を用いなければ測定が困難である足圧分布特性を足底感覚の検査によって概ね予測し得る可能性が示唆され，臨床での評価として利用できる可能性があると考える。

各変数の相関分析を行った結果，年齢とは相関を認めなかった足底感覚および足底接地面積がバランス能力と関連することが明らかになった。足底感覚とバランスとの関連性について，横山ら[19]は，足底部を冷却して足底からの情報入力を減少させた際に，重心動揺が増大することを報告した。Meyerら[6]は足底面の麻酔により足底感覚閾値を上昇させると足圧中心の移動速度が増加することを示し，特に片脚立位や閉眼の条件では足底感覚がバランスの保持に重要であるとしている。また森岡らの報告[8]では，2～92歳までの健常者を対象として，足底の二点識別覚は加齢にともない有意に低下すること，二点識別距離と片脚立位保持時間との間には負の相関があることが示されている。本研究では，それらの研究と同様に静的立位保持での重心動揺と足底感覚閾値が有意に関連していたことに

加えて，新たにファンクショナルリーチと足底感覚閾値との関連性も確認され，動的な場面においても足底部の体性感覚が姿勢制御に重要な役割を有していることが示唆された。従来，足底の接地状況とバランス能力との関連性については，健常若年者においては足趾を免荷することによって静止立位時の重心動揺には変化がないが[30]，ファンクショナルリーチ時の足圧中心前方移動量は減少する[31]ことが報告されている。しかし，若年者よりもバランス能力が低い状態にある高齢者においては，支持基底面の減少がバランス能力に与える負の影響は若年者よりもさらに大きくなっていることが推察され，本研究では静的・動的バランスともに足底接地面積と有意に相関する結果になったと考えられる。本研究の対象者は12名と少数であり，本研究結果を一般化するためにはさらなる調査が必要ではあるが，足底板などを工夫して足底接地面積を増やすことは，高齢者のバランス能力を改善させる目的においては一考に値すると考える。

ま　と　め

高齢者を対象に，足底感覚，足圧分布，および足底接地状態と立位バランス能力との関連性を調査した。12名中11名で足趾の接地不良が確認された。立位で足底圧が高い部位は感覚閾値が高く，接地していない部位は感覚閾値が低い傾向にあった。足底感覚閾値と足底接地面積は，総軌跡長およびファンクショナルリーチと関連性のあることが明らかとなった。高齢者においてバランス能力の改善を図る場合には，足底感覚とともに足底接地面積にも注意を払う必要性が示唆された。

文　　献

1) Shumway-Cook A, Woollacott MH: Normal postural control. In: Motor Control. Theory and practical applications. 2nd ed. Baltimore, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2001: 163-191
2) Morasso PG, Schieppati M: Can muscle stiffness alone stabilize upright standing? J Neurophysiol, 1999; 82(3): 1622-1626
3) Pyykkö I, Jäntti P, Aalto H: Postural control in elderly subjects. Age Ageing, 1990; 19: 215-221
4) Tanaka T, Ino S, Ifukube T: Tactile sense and pressure of toe contribution to standing in the healthy elderly. J Phys Ther Sci 1996; 8: 19-24
5) Kavounoudias A, Roll R, Roll JP: Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. J Physiol 2001; 532(3): 869-878
6) Meyer PF, Oddsson LIE, De Luca CJ: The role of plantar cutaneous sensation in unperturbed stance. Exp Brain Res 2004; 156: 505-512
7) 村田　伸：開眼片足立ち位での重心動揺と足部機能との関連—健常女性を対象とした検討—．理学療法科学，2004；19(3)：245-249
8) 森岡　周，宮本謙三，竹林秀晃，八木文雄：年代別にみた立位姿勢バランス能力と足底二点識別覚の変化過程．PT ジャーナル，2005；39(10)：919-926
9) Stevens JC, Patterson MQ: Dimensions of spatial acuity in the touch sense: Change over the life span. Somatosens Mot Res 1995; 12(1): 29-47
10) 平井俊策：老化現象の解明と予防　触覚・痛覚の老化．老年精神医学雑誌，2002；13(6)：632-637
11) Kenshalo DR: Somesthetic sensitivity in young and elderly humans. J Gerontol 1986; 41(6): 732-742
12) Peterka RJ, Black FO: Age-related changes in human postural control: sensory organization tests. J Vestib Res 1990; 1(1): 73-85
13) Bugnariu N, Fung J: Aging and selective sensorimotor strategies in the regulation of upright balance. J Neuroengineering Rehabil 2007; 4: 19
14) Menz HB, Morris ME, Lord SR: Foot and ankle risk factors for fall in older people: a prospective study. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2006; 61(8): 866-870
15) Hughes J, Clark P, Klenerman L: The importance of the toes in walking. J Bone Joint Surg (Br) 1990; 72B: 245-251
16) 恒屋昌一，臼井永男：健常成人における直立時の足趾接地の実態．理学療法学，2006；33(1)：30-37
17) 平松知子，泉　キヨ子，加藤真由美，正源寺美穂：転倒予防に関する地域高齢者の足部の実態—足趾の接地状態と足底，姿勢，バランス，筋力および転倒との関係—．老年看護学，2005；9(2)：116-123
18) 浅井　仁，奈良　勲，立野勝彦，藤原勝夫，山下美津子：極低温空気による足底冷却が安静時立位姿勢調節および有効支持基底面の広さに及ぼす影響．理学療法学，1991；18(1)：19-25
19) 横山茂樹，高柳公司，松坂誠應，大城昌平，金ヶ江光生，東　英文：足底部感覚情報が立位姿勢調整および歩行運動に及ぼす影響．理学療法学，1995；22(3)：125-128
20) Nurse M, Nigg BM: The effect of changes in foot sensation on plantar pressure and muscle activity. Clin Biomech 2001; 16: 719-727
21) Eils E, Nolte S, Tewes M, Thorwesten L, Völker K, Rosenbaum D: Modified pressure distribution pattern in walking following reduction of plantar sensation. J Biomech, 2002; 35: 1307-1313
22) 伊藤浩充，大久保吏史，杉山幸一：足部外部形状と足底感覚閾値との関係．日本臨床バイオメカニクス学会誌，2006；27：357-362
23) Morag E, Cavanagh PR: Structural and functional predictors of reginal peak pressures under the foot during walking. J Biomech 1999; 32: 359-370
24) Menz HB, Morris ME: Clinical determinants of plantar forces and pressures during walking in older people. Gait Posture 2006; 24: 229-236
25) Hämäläinen H, Kekoni J: Effect of unilateral sensory impairment of the sole of the foot on postural control in man: implications for the role of mechanoreception in postural control. Hum Mov Sci 1992; 11: 549-561
26) Menz HB, Zammit GV, Munteanu SE: Plantar pressure are higher under callused regions of the foot in older

people.　Clin Exp Dermatol 2007 ; 32(4) : 375-380
27）姫野稔子，三重野英子，末弘理恵，桶田俊光：在宅後期高齢者の転倒予防に向けたフットケアに関する基礎的研究―足部の形態・機能と転倒経験および立位バランスとの関連―．日本看護研究学会雑誌，2004；27(4)：75-84
28）Young MJ, Cavanagh PR, Thomas G, Johnson MM, Murray H, Boulton AJM : The effect of callus removal on dynamic plantar foot pressures in diabetic patients. Diabet Med 1992 ; 9 : 55-57
29）Pitei DL, Foster A, Edmonds M : The effect of regular callus removal on foot pressures.　J Foot Ankle Surg 1999 ; 38(4) : 251-255
30）浅井　仁，奈良　勲，立野勝彦，山下美津子：立位姿勢保持における足指の作用に関する研究．PT ジャーナル，1989；23(2)：137-141
31）加辺憲人，黒澤和生，西田裕介，岸田あゆみ，小林聖美，田中淑子，牧迫飛雄馬，増田幸泰，渡辺観世子：足趾が動的姿勢制御に果たす役割に関する研究．理学療法科学，2002；17(3)：199-204