

片脚立位移行時の重心動揺変化について

梅 本 かほり (北海道リハビリテーション大学校 理学療法学科)

橋 本 伸 也 (藤女子大学 人間生活学部 人間生活学科)

本研究では、両脚立位から片脚立位への移行時の重心動揺を測定・分析し、年代による特徴と開始肢位の影響を調査・検討した。対象は若年群 52 名、中高年群 23 名の健常成人とした。なお、本研究は「藤女子大学人間生活学部研究倫理審査委員会」の承認を得て実施した。

重心動揺計測は、事前に計測開始 10 秒後に任意の足を上げて片脚立位姿勢となるよう指示し、20 秒間平衡機能計で計測した。開始肢位は、閉脚立位と開脚立位の 2 条件とした。分析項目は、側方への重心移動距離、移動速度とした。その結果、閉脚立位で重心移動距離と速度は小さかった。また中高年群は重心動揺が大きくなり、結果のばらつきが大きく個人差が目立った。

これらから片脚立位へ移行する際には閉脚立位から始める方が動作の効率が良いこと、開脚立位から始める場合には側方への重心移動練習を行うと転倒リスクが低下することが示唆され、この方法で早期からの転倒リスクが評価可能になると考えた。

キーワード：重心動揺・片脚立位移行・転倒

1. 緒言

日本の総人口は今後急速に減少し、2012 年 1 月に公表された将来人口推計によると、2010 年の人口 12,806 万人から 2060 年には 8,674 万人を割り込むと予想されている。さらに 65 歳以上の割合は 2010 年には 23.1%と超高齢社会に突入し、2035 年には 33%、2060 年には 39.9%へと増加するりとされている。

このような超高齢少子社会では、疾病及び加齢による医療・介護の負担が極めて大きくなる。それに対してはより健康な社会を目指すことが課題となる。介護を受けるようになる理由の一つに転倒がある。高齢者の転倒は屋外だけでなく屋内でも多く発生し、特に年齢が高くなれば居室・寝室など何も無いところで転ぶことが多い。また転倒による外傷や骨折は、高齢者の身体機能低下を起すだけではなく、転倒に対する恐怖感から低活動状態を引き起こしやすく、日常生活活動能力を著しく低下させる²⁻⁶⁾。

両脚立位から片脚立位への移行動作は日常生活でも頻繁に使う動作の一部である。立位の安定状態から意図的に片脚を挙上してバランスを保持することは歩行

に必須の動作であり、姿勢変換とバランス保持能力が複合した動作である。しかし、この移行動作に関して、重心動揺から検討した先行研究は少ない。本研究の目的は、両脚立位から意図的に片脚立位に姿勢変換した際の重心動揺を指標として分析し、年代による特徴を捉えると共に、開始肢位の影響を調査し、片脚立位の前の肢位設定が重要かを検討することである。

2. 対象および方法

(1) 対象

対象は健常成人とし、若年群とする 20 代 52 名 (男性 25 名、女性 27 名)、中高年群とする 50-60 代 23 名 (男性 10 名、女性 13 名) とした。若年群の平均年齢 21.4 歳 (男性 21.4 歳、女性 21.4 歳)、身長 166.7 cm (男性 173.0 cm、女性 160.8 cm)、体重 60.6 kg (男性 67.2 kg、女性 54.5 kg) であり、中高年群は平均年齢 57.6 歳 (男性 58.7 歳、女性 56.7 歳)、身長 161.7 cm (男性 168.4 cm、女性 156.6 cm)、体重 61.0 kg (男性 71.4 kg、女性 53.0 kg) であった。被験者には事前に研究内容を口頭および紙面にて説明し、同意を得た。

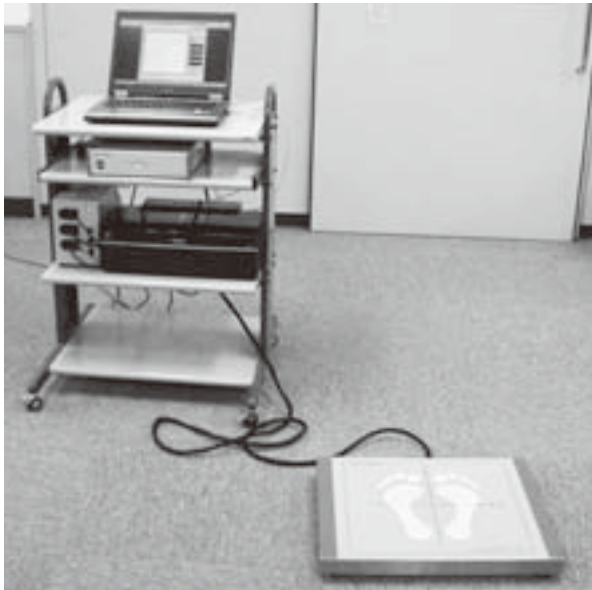


図 1. 平衡機能計



図 2. 実験風景

なお、本研究は「藤女子大学人間生活学部研究倫理審査委員会」(2013年7月1日)の承認を得て実施した。

(2) 方法

重心動揺の測定には、グラフや演算結果を Excel で分析できる共和電業製平衡機能計 ECG-1500A を使用した。平衡機能計の PC モニターをプロジェクターに接続し、被験者の 2 m 前にスクリーンで提示した。このとき、モニターを拡大して表示し、重心動揺の様子はスクリーンに映らないように設定した (図 1、2)。

開始肢位は、①閉脚立位②両踵・両母趾間 10 cm 開脚立位の 2 条件とし、後述する手順で立位から左右の片脚立位に移行する課題をそれぞれ行った。なお、被験者は裸足とし、両上肢は体側に下垂させたままとした。開眼にて検査台上で開始肢位をとり、スクリーンに映写される計測時間を凝視させた。計測開始 10 秒後に任意の足を上げて片脚立位姿勢となるよう事前に指示し、20 秒間の計測を行った。その後、再度開始肢位を取らせ、反対足を 10 秒後に上げるよう指示し、20 秒間の計測を行った。

(3) 分析の方法

分析項目は、重心動揺測定における側方への移動距離、移動速度、姿勢変換のタイミングと所要時間とした。これらから、開始肢位による違い、年代による違いを比較した。

1) 標準的なデータから抽出

重心動揺解析ソフトウェアによる標準的なデータを以下に示す (図 3、4)。その中から、両脚立位から片脚立位に移行する際の側方への重心移動の範囲を反映するものとして側方の最大振幅を抽出し、側方への重心移動の速度を反映するものとして立脚側への最大速度を抽出した。



図 3. 両脚立位から片脚立位に移行した際の重心動揺 (左図：右足挙上、右図：左足挙上)

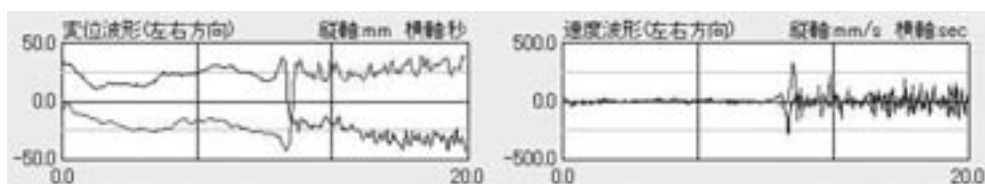


図 4. 両脚立位から片脚立位に移行した際の重心動揺 (左図：変位波形、右図：速度波形)

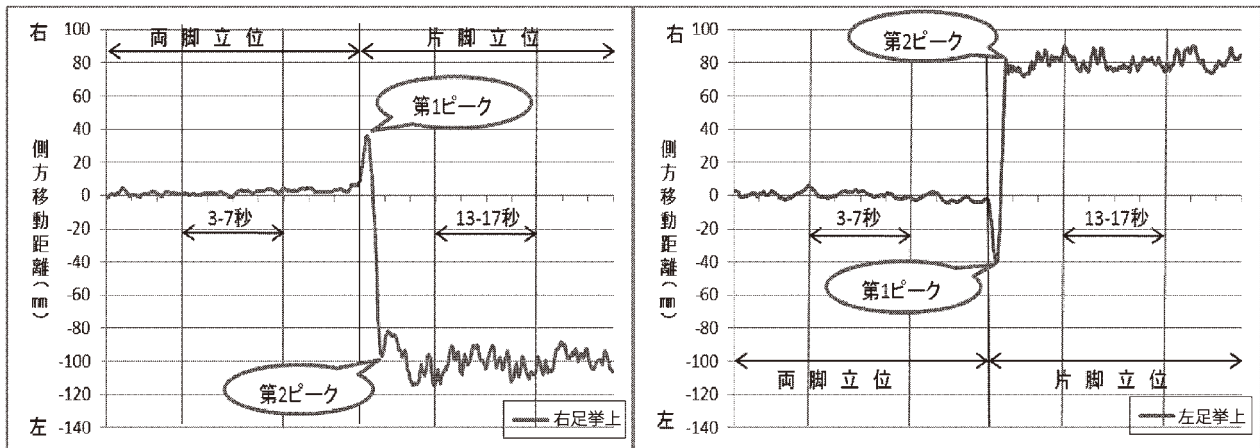


図 5. 重心動揺データの抽出例

2) Excel データに変換しデータ抽出

側方への重心移動のタイミングや大きさを調査するため、計測したデータを Excel データに変換した (図 5)。重心移動の指標として、片脚に移行する際の挙上側へ移動したピーク時 (第 1 ピーク時) と立脚側へ移動したピーク時 (第 2 ピーク時) の座標を読み取った。その座標から第 1 ピーク時と第 2 ピーク時の時間とピーク間に移動した距離と速度を求めた。また、両脚立位と片脚立位間の側方移動の振幅として、開始 3-7 秒、13-17 秒の間の最大値・最小値を抽出してその差を求めた。

(4) 統計処理方法

2 群を比較する際には、Microsoft Excel2010 の F 検定を行い、等分散であれば対応のない t 検定を用い、等分散でない場合は Welch の検定を用いた。有意水準は 5%未満、または 1%未満とした。

3. 結果

(1) 重心動揺データの分析結果

1) 最大振幅

重心動揺データから、側方への重心移動距離を反映する最大振幅を抽出した。

若年群の閉脚時は 71.8±12.6 mm、開脚時は 122.4±15.9 mm であり、開脚時の方が有意に大きかった (p<0.01)。中高年群の閉脚時は 88.7±28.2 mm、開脚時は 135.3±27.5 mm であり、開脚時の方が有意に大きかった。(p<0.01) また、同一開始肢位での若年群と中高年群を比較したところ、閉脚時・開脚時ともに中高年群の方が有意に大きかった (p<0.01)。また、中高年群は分散の値が有意に大きく、データのばらつきが大きかった (p<0.01) (表 1、図 6)。

2) 最大速度

重心動揺データから、側方への重心移動の速度を反映する、側方の最大速度を抽出した。右足挙上の際は左への最大速度、左足挙上の際は右への最大速度を採用した。

若年群の閉脚時は 231.7±86.7 mm/s、開脚時は 407.4±143.8 mm/s であり、開脚時の方が有意に大きかった (p<0.01)。中高年群の閉脚時は 374.2±237.1 mm/s、開脚時は 545.3±241.1 mm/s であり、開脚時の方が有意に大きかった (p<0.01)。また、同一開始肢位での若年群と中高年群を比較したところ、閉脚時・開脚時ともに中高年群の方が有意に大きかった (p<0.01)。また、中高年群のデータは分散が有意に大きく、データのばらつきが大きかった (p<0.01) (表 2、図 7)。

表 1. 側方の最大振幅 (mm)

(n=若年群 104、中高年群 46)

	閉脚時	開脚時
若年群	71.8±12.6	122.4±15.9
中高年群	88.7±28.2	135.3±27.5

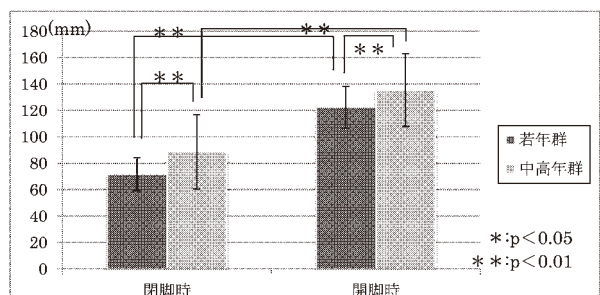


図 6. 側方の最大振幅(mm) (n=若年群 104、中高年群 46)

3) ピーク間の距離

両脚立位から片脚立位へ移行する際の重心移動距離の指標として、データのピーク時の座標を抽出し、その側方移動距離を算出した。

若年群は閉脚時 58.0 ± 18.9 mm、開脚時 108.7 ± 20.2 mm、中高年群は閉脚時 66.6 ± 18.7 mm、開脚時 116.8 ± 30.3 mm であった。両群とも閉脚時と開脚時でピーク間の距離は有意に異なっており、重心移動距離は開脚時に大きくなった ($p < 0.01$)。同一開始肢位を比較すると、閉脚時は若年群よりも中高年群が有意に大きくなった ($p < 0.05$)。開脚時は中高年群のばらつきが有意に大きく ($p < 0.01$)、中高年群が大きい傾向はあったが有意な差は見られなかった(表3、図8)。

表2. 側方の最大速度 (mm/s)
(n=若年群 104、中高年群 46)

	閉脚時	開脚時
若年群	231.7 ± 86.7	407.4 ± 143.8
中高年群	374.2 ± 237.1	545.3 ± 241.1

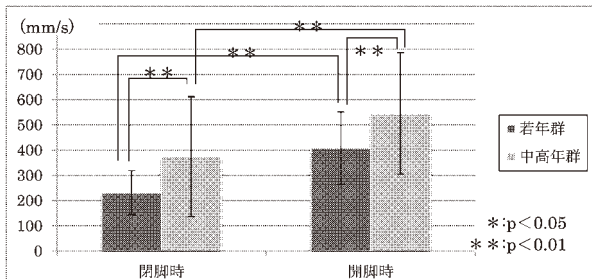


図7. 側方の最大速度 (mm/s)
(n=若年群 104、中高年群 46)

表3. ピーク間距離 (mm)
(n=若年群 104、中高年群 46)

	閉脚時	開脚時
若年群	58.0 ± 18.9	108.7 ± 20.2
中高年群	66.6 ± 18.7	116.8 ± 30.3

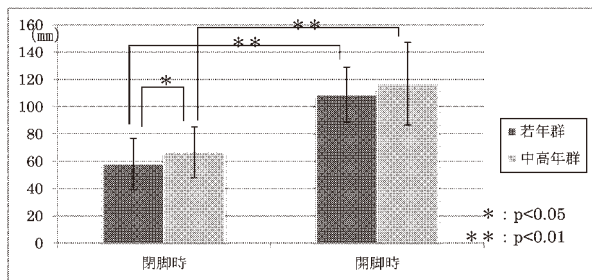


図8. ピーク間距離 (mm) (n=若年群 104、中高年群 46)

4) ピーク間の速度

両脚立位から片脚立位へ移行する際の重心移動速度の指標として、データのピーク時の座標を抽出し、その側方移動速度を算出した。

若年群は閉脚時 103.1 ± 63.8 mm/s、開脚時 180.9 ± 77.6 mm/s であった。中高年群は閉脚時 116.0 ± 57.4 mm/s、開脚時 194.6 ± 106.8 mm/s であった。両群とも閉脚時と開脚時でピーク間の速度は有意に異なっており、重心移動速度は開脚時に大きくなった ($p < 0.01$)。中高年群は開始肢位により分散が異なり ($p < 0.01$) 開脚時に大きくばらつきがみられた。同一開始肢位を比較すると、若年群と中高年群には有意な差はみられなかった。しかし、開脚時の分散は中高年群で有意に大きく ($p < 0.01$) データのばらつきがみられた(表4、図9)。

5) 両脚立位時・片脚立位時の側方移動距離

両脚立位時と片脚立位時の重心の側方動揺の大きさとして、開始3-7秒と13-17秒の間の座標から最大値と最小値を抽出し、その差を求めた。

若年群の閉脚立位は 13.40 ± 4.36 mm、閉脚時片脚立位は 22.55 ± 6.04 mm、開脚立位は 6.78 ± 3.14 mm、開脚時片脚立位は 22.07 ± 6.11 mm で、閉脚立位と開脚立位には有意差がみられた ($p < 0.01$)。中高年群の閉脚立位は 19.91 ± 10.19 mm、閉脚時片脚立位は 37.30 ± 26.53 mm、開脚立位は 19.72 ± 16.58 mm、開脚時片脚立位は 35.67 ± 31.87 mm であった。若年群も中高年群も両脚立位よりも片脚立位で有意に振幅が大きく ($p < 0.01$)、また分散も大きく ($p < 0.01$) ばらつきがみられた。若年群と中高年群を比較すると、全てのデータで中高年群の方が有意に大きく ($p <$

表4. ピーク間の速度 (mm/s)
(n=若年群 104、中高年群 46)

	閉脚時	開脚時
若年群	103.1 ± 63.8	180.9 ± 77.6
中高年群	116.0 ± 57.4	194.6 ± 106.8

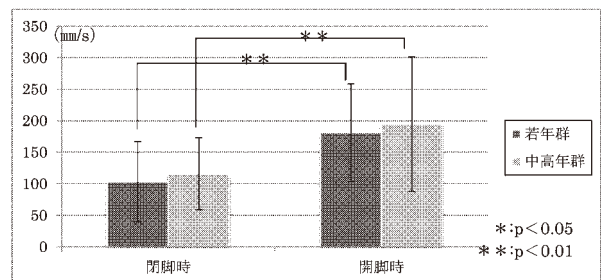


図9. ピーク間の速度 (mm/s)
(n=若年群 104、中高年群 46)

表 5. 両脚立位時と片脚立位時の側方移動距離 (mm) (n=若年群 104、中高年群 46)

	閉脚時		開脚時	
	両脚	片脚	両脚	片脚
若年群	13.40±4.36	22.55±6.04	6.78±3.14	22.07±6.11
中高年群	19.91±10.19	37.30±26.53	19.72±16.58	35.67±31.87

0.01)、分散も大きかった ($p<0.01$) (表 5)。

4. 考察

(1) 結果の特徴

1) 開始肢位による違いについて

開始肢位による違いについては、開脚時の方が閉脚時と比較して側方の最大振幅・ピーク間距離・側方の最大速度・ピーク間速度が有意に大きくなった。重心の移動距離を反映する最大振幅やピーク間距離に関しては、両脚立位時の重心位置は両足底で作る支持基底面の中央に位置し、片脚立位時の重心位置は立脚側の足底の中央に位置することとなる (図 10)。そのため、閉脚立位から片脚立位へ移行する時と 10 cm の開脚立位から片脚立位へ移行する時とでは 5 cm 移動距離が増えることになる。今回の結果でも、側方の最大振幅とピーク間距離における閉脚時と開脚時の平均値の差は 50 mm 程度であり、距離が開いた分だけ大きくなったと言える。

また、側方の最大速度とピーク間速度については、移動すべき距離が大きくなったが、片脚立位へ移行するまでにかかる時間はピークを示した時間から考えると開脚時の方が若干長くなる。しかし大きな変化はないため、距離に伴って重心移動速度も速くなったと考えられる。重心移動速度が速くなると支持基底面から重心線が外れる可能性が高くなり、バランスを崩しやすくなる。最大振幅と最大速度から考えると、開脚時で動作を開始する方がバランスを崩しやすいといえる。

両脚立位時の側方移動距離については、若年群は閉脚立位時と開脚立位時で有意に開脚立位時の方が小さくなり、支持基底面が広がったことでより安定した姿勢になっていた。しかし中高年群は開脚立位時のばらつきが大きくなり、閉脚立位時と開脚立位時に差はなかった。これは支持基底面が拡大することにより安定した立位姿勢をとった者もいたが、片脚立位へ移行するための準備として意図的にリズムを取りながら左右へ重心を動かしている者もいたためであると思われる。星ら⁷⁾によると、若年者が片脚立位になる際にはその動作に先行して対側の中殿筋・腓腹筋の筋活動が高まり、動作の事前準備が行われるが、SCD 患者にはその先行動作がみられないとある。今回のリズムをとっ

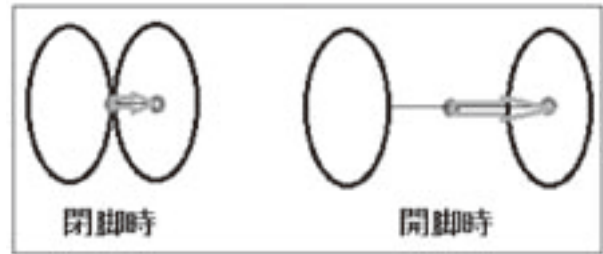


図 10. 重心移動距離の模式図

て重心を動かすというのは、重心移動の準備を随意的に行っていたと考えられる。先行動作を行うことでスムーズに重心を移動させ、静止姿勢から動き出すよりも緩やかな変動で片脚立位に移行する戦略だったのではないかと考える。

2) 若年群と中高年群の違いについて

両脚立位時と片脚立位時の側方重心移動距離はどの肢位も中高年群の方が大きくなっていった。閉脚立位時の側方移動距離については、田近ら⁸⁾の調査の 20 代では 20.5 mm であったが、本研究の若年群ではそれよりも小さい 13.4 mm であり、安定した立位姿勢を取っていたといえる。若年群の被験者は平均年齢 21.4 歳と非常に若く、スポーツ歴があり、バランス能力の高い者が多かったのではないかとと思われる。また、中高年群の閉脚立位時のデータは 19.9 mm であり、分散が大きいものの田近ら⁸⁾の 20 代の調査結果と同様の値であり、50-60 代としては良好な結果であったといえる。中高年群の被験者は、歩行や運動習慣の有無で、日常生活での身体活動量に差があり、ばらつきが出ていたのではないかとと思われる。

また、片脚立位時の側方重心移動距離は中高年群のばらつきが大きく、姿勢を保持しきれない場合もみられた。森岡ら⁹⁾によれば片脚立位保持は 31 歳から退行が始まり、50 代から 70 代に著しく低下すること、60 代では標準偏差が大きく運動機能や運動習慣に左右されるとしており、今回の結果もそれを支持するものとなっていた。

若年群に比べ中高年群は最大振幅・最大速度が大きい。片脚立位への移行の際には、一度重心を挙上側に動かしてから立脚側の足底へ動かしている。若年群は効率よく動作を行っているのに対し、中高年群はその

際の重心移動距離が大きく、不安定になる位置まで重心を動かしていることになる。そのため中高年群では片脚立位に姿勢を変化させる際、バランスを取りきれずに一度拳上した脚を着いてしまう者や、片脚立位を保持できない者がいた。これは下肢拳上を行う際に勢いよく重心が立脚側へ移動し、足底でできた支持基底面を通り過ぎそうになった結果であると考えられる。

建内ら¹⁰⁾は側方ステップ時の重心移動において、若年群は支持側への重心移動がほとんどなく短時間で効率の良い動作をするのに対し、中高年群は支持側への重心移動が大きく、体重移動の時間も延長し安全性重視の戦略を用いて動作をしていたと報告している。側方ステップの動作では、下肢拳上後に開脚して足底を床に着く動作であるため、重心は両脚立位時の位置からステップを出す側に移動する。そのため、ステップ動作と片脚立位に移行する動作では重心移動の向きが異なる。しかし、若年群は中高年群と比べて動作の効率が良く、開始時の姿勢が変化してもそれに対応して動作を変更できるという点では同様の結果になったと考える。

(2) 転倒予防と片脚立位移行動作

片脚立位は、歩行や段差昇降、入浴の際の浴槽跨ぎ動作や下衣更衣動作などに含まれるため、日常生活の中で繰り返されている動作の一つである。本研究の結果から、片脚立位に移行する際は、閉脚立位姿勢から開始する方が重心移動距離の短い動作を行え、効率も良く転倒の危険が少ない。しかし、開始肢位である立位姿勢そのものが不安定な場合には、開脚して支持基底面を広くとる必要がある。安定した姿勢から重心を移動する時には加速が必要になり、それを制御できなければ転倒のリスクにつながる。そこで開脚立位から動作を始める際には、準備運動として左右に重心移動を行うと、加速が少なくなり重心移動速度が減少することで、バランスを崩す危険性が減少するのではないかと考える。

高齢者の転倒が起こるのは歩行時や起立・着座時などが多い。立位重心動揺検査の結果は転倒経験と関係性が低く^{6,11)}、静的なバランス検査だけでは転倒リスクを明らかにすることはできない。片脚立位への移行動作は歩行立脚時の動的アライメントと関係があると千葉ら¹²⁾が報告している。そのため、片脚立位への移行動作を指標として、歩行時の転倒リスクを評価することができると考えた。本研究で測定した移行動作時の最大振幅とピーク間距離、最大速度とピーク間速度には高い相関関係があり、詳細なデータ分析をしなくても、一般的な重心動揺計で測定できる数値での評価が

可能である。今後、これらのデータと他のバランス検査との関係性を検討することで、転倒リスクの数値的な評価も可能となるのではないかと考えた。

先行研究では、若年群と高齢者群を比較した報告が多く¹³⁻¹⁵⁾、高齢者群のバランス能力低下を重心動揺計測などによる結果で明らかにしている。しかし、本研究における中高年群のような比較的バランス能力の良い対象者と若年群を比較して、中高年者のバランス能力の低下を示した研究は少ない^{8,13,16)}。本研究方法による両脚立位から片脚立位移行時の重心動揺計測結果では中高年群と若年群に差が認められていたことから、早期のバランス能力低下を発見できることが可能となり、転倒予防に向けた評価として有用である可能性を本研究は示唆した。

5. 結論

本研究では、両脚立位から片脚立位に移行する際の重心動揺変化について、重心動揺計を用いて測定し検討した。

重心移動距離や速度について、開始肢位による差が認められた。そして中高年群において重心動揺は大きくなり、また結果のばらつきが大きく個人差が目立った。

これらから、片脚立位へ移行する際には閉脚立位から始める方が、動作の効率が良いこと、開脚立位から始める場合には側方への重心移動練習を行うと転倒リスクが低下することが示唆された。さらに、片脚立位への移行動作を含む重心動揺測定で基準値を定めることができれば、早期からの転倒リスクを評価可能になるのではないかと考えた。

文献

- 1) 厚生労働省：平成 24 年版厚生労働白書—社会保障を考える—第 6 章第 1 節 日本社会の直面する変化と課題 135-140, 2012.
- 2) 角田亘・安保雅博：転倒をなくすために—転倒の現状と予防対策—。慈恵会医大誌 123：347-371, 2008.
- 3) 渡辺丈眞：高齢者転倒の疫学。理学療法 18：841-846, 2001.
- 4) 藪越公司・山口昌夫：高齢者の固有感覚と転倒。理学療法 18：852-857, 2001.
- 5) 小栢 進也・他：高齢者の姿勢制御能力と転倒恐怖感および生活活動量との関連。理学療法学 37(2)：78-84, 2010.
- 6) 島田裕之・他：施設利用高齢者のバランス機能と転倒との関係。総合リハビリテーション 28：961-966, 2000.

- 7) 星文彦・他：片脚立ち動作における側方重心移動に伴う筋活動パターン．リハビリテーション医学 38 suppl：5230, 2001.
- 8) 田近由美子：重心動揺移動距離と重心動揺図（X軸長，Y軸長）についての研究．金沢大学十全医学会雑誌 88：122-137, 1979.
- 9) 森岡周・他：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 39：919-926, 2005.
- 10) 建内宏重・他：側方へのステップ動作開始時における姿勢制御の加齢による変化．理学療法科学 21：267-273, 2006.
- 11) 堀川悦夫・他：高齢者の易転倒性の評価—重心動揺と自覚症状との関連—．東北大医短部紀要 8：183-190, 1999.
- 12) 千葉健・他：歩行と片脚立位移行動作における下肢体幹の運動学的挙動の関連性．日本理学療法学会大会 2012：A-P-13, 2013.
- 13) 猪飼哲夫・他：中高年者の動的バランス機能評価．リハビリテーション医学 39：311-316, 2002.
- 14) 田邊素子・他：家庭用ビデオカメラを使用した地域在住高齢者の片脚立ち動作における姿勢制御のタイプの判別．総合リハビリテーション 37：1041-1048, 2009.
- 15) 星文彦・他：高齢者の片脚立ち動作における運動学的特徴と立位バランス機能．日本臨床生理学会雑誌 33 suppl：49, 2003.
- 16) 平沢彌一郎：Stasiology からみた日本人の直立能力について．バイオメカニズム学会誌 6：7-14, 1982.

The Change of Center-of-Pressure during transitioning to one-leg standing position

Kahori UMEMOTO

(Department of physical therapy, Hokkaido Rehabilitation College)

Nobuya HASHIMOTO

(Faculty of Human Life Sciences, Fuji Women's University)