

原 著

視覚情報フィードバックを用いた片脚立位練習の 効果的な視標としての身体部位の検討

曾我部莉帆*¹ 小原謙一*² 大坂裕*²

要 約

転倒予防として、開眼で片脚立位を保持するダイナミックフラミング運動が有効であることが知られている。本研究では、片脚立位練習時の効果的な視標としての身体部位を検討することを目的とした。対象は運動習慣のない健常成人女子大学生54名であった。片脚立位練習時の視標として身体部位を認識することを可能にするために、任意の身体部位に装着し、レーザーを壁面に照射することでその部位の動揺を視覚的に認識しやすくするフィードバック機器を用いた。実験条件は、額中央を意識する群（額群：13名）、骨盤部を意識する群（骨盤群：12名）、支持脚膝蓋骨中央を意識する群（膝群：14名）、フィードバック機器を用いずに片脚立位練習を行うコントロール群（15名）の4群とし、無作為に対象者を振り分けた。練習は、バランスパッド上での1分間の片脚立位保持とし、2m離れた壁面に貼付した直径10cmの円内に機器からのレーザーを留めるように指示した。これを2週間、週3回、1回につき3セット実施した。各群の練習効果の判定のために足圧中心動揺計を用い、練習期間開始前と1週間後、2週間後にバランスパッド上片脚立位時の総軌跡長と矩形面積を測定した。その結果、膝群が総軌跡長、矩形面積ともに1週間後から有意な減少を示し、2週間後にはさらに減少した。本研究結果から、開眼での片脚立位練習をする際は膝部の動揺を視覚的に捉え、動揺させないように意識させることで、その後の片脚立位時の重心動揺を減少し得ることが示唆された。

1. 緒言

現在、日本は超高齢社会を迎えており高齢者の要介護や転倒が社会問題となっている。要介護状態となった主な原因として転倒は、認知症、脳血管障害、高齢による衰弱に続き12.1%と多数を占めている¹⁾。この高齢者の転倒は、身体面における内的因子および環境による外的因子など多種多様な原因で引き起こされる。内的因子としては加齢による姿勢制御能力の低下が挙げられる²⁾。人の姿勢制御は体性感覚系、前庭感覚系、視覚系の感覚情報を中枢神経系が統合、処理することで安定を実現している³⁾。これらの中でも視覚は、周囲にある物体の相対的な位置関係を知ることのできる情報となるため、姿勢の定位において最も重要であるとされている^{4,5)}。視覚は運動との関連から中心視覚（central vision）と周辺視覚（peripheral vision）に区分することができ

る。中心視覚は意図的で、眼前の狭い空間のものを知覚し、その詳細を知り微細運動の制御を行うのに役立つ。周辺視覚は無意識的であり、身体周囲の空間にある物の位置や運動の情報を伝えるものである⁶⁾。これらのことから、相対的な位置関係の情報から姿勢制御を効果的に行うためには、基準とすべき身体部位を規定する必要があると考えられる。視覚情報を用いた姿勢制御練習に関する研究報告は多数見受けられるが、それらの多くは鏡を用いたものである。経堂ら⁷⁾は鏡による視覚フィードバックについて、周辺視野によって身体と周辺環境との位置関係を把握することで姿勢制御が行われていると述べているが、身体を安定させる基準となる身体部位としてどこを認識すべきかを明確に規定している報告は見当たらない。さらに、転倒予防を目的とした簡便な運動として、開眼で片脚立位を保持するダイナ

*1 住友別子病院 リハビリテーション部

*2 川崎医療福祉大学 リハビリテーション学部 理学療法学科

（連絡先）小原謙一 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学

E-mail: rptkob@mw.kawasaki-m.ac.jp

ミックフラミング運動が有効であることが知られている⁸⁾。この運動は、片脚立位姿勢を1分間保持することで股関節周囲筋群の筋力強化や立位姿勢制御能力の向上による転倒予防効果に加えて、自身の体重をメカニカルストレスとして片脚立位時の支持側大腿骨頭に加え骨密度を骨折閾値以上に改善させることで大腿骨頸部骨折を予防することを図る運動である。しかしながら、この運動についても片脚立位保持の際に身体部位のどこを意識すべきかを明確に規定されてはいない。

廣田ら⁹⁾は、身体の任意の部位の動揺を視覚的に認識することを可能にするために開発された、レーザーポインターを用いた身体部位の視覚情報フィードバック機器を使用した片脚立位での姿勢制御練習の足圧中心動揺に対する効果を検証している。この先行研究では、支持脚膝蓋骨中央部にフィードバック機器を装着し、膝部の動揺を視覚的に認識できるようにした上で姿勢制御練習を実施した。その結果、2週間の視覚情報フィードバックを用いた姿勢制御練習で片脚立位時の足圧中心動揺が有意に減少したと報告している。この先行研究結果から、膝部の動揺を視覚的に認識しながら姿勢制御練習を行うことで姿勢制御能力は向上することが示唆されたが、膝部以外の身体部位との比較はされていない。

以上のように、視覚情報と姿勢制御の関係から、基準となる身体部位の動揺を認識しながら姿勢制御練習を行う方が効果的であることは推測されるが、身体のどこかの部位の動揺を認識すべきかを検討した報告は筆者らが渉猟する限りにおいては見当たらない。そこで本研究は、転倒予防を目的とした片脚立

位姿勢制御練習の際に視覚的に認識すべき最も効果的な身体部位を検討することを目的として実験を実施した。

2. 方法

2.1 対象

対象は普段からの運動習慣がなく、整形外科的及び神経学的疾患の既往のない健常若年成人女子学生54名(平均年齢 20.4 ± 0.7 歳、身長 158.5 ± 5.3 cm、体重 50.6 ± 5.7 kg)であった。

本研究を開始するにあたり、対象者には倫理的配慮として研究の目的及び方法、個人情報保護に関して十分に説明し同意を得て行った。なお、本研究は川崎医療福祉大学倫理委員会の承認後に実施した(承認番号:19-004)。

2.2 方法

本研究では、任意の身体部位の動揺を視覚的に認識しやすくするために、廣田ら⁹⁾の先行研究で使用されていたものと同様の視覚情報フィードバック機器を用いた。このフィードバック機器は、任意の身体部位に伸縮ベルトを巻き、マジックテープによってレーザー照射部を貼付するように装着するものである。装着した身体部位からレーザーを壁面に照射するため、照射部のわずかな向きの変化がレーザーの照射先である壁面に大きく反映し、身体部位の動揺をより明確に検知可能とするものである(特許出願中, 特開2019-051059, 出願人:川崎学園, 発明者:小原謙一, 図1)。

片脚立位姿勢制御練習は、バランスパッド(There band 社製スタビリティートレーナー, ソフトタイ

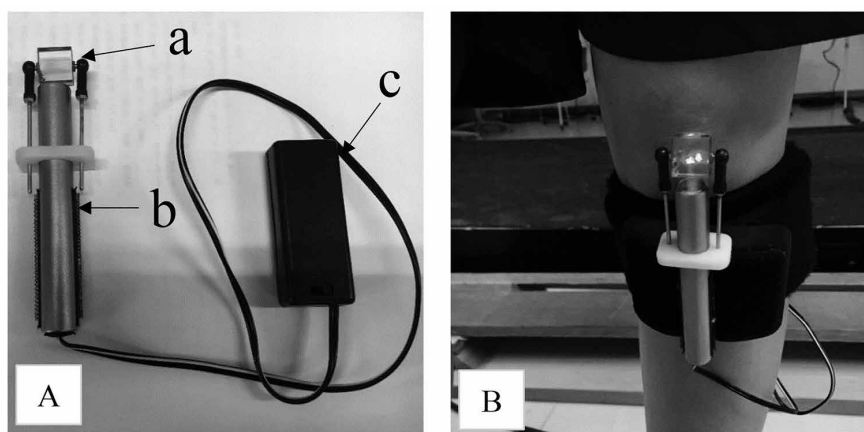


図1 視覚情報フィードバック機器

- A. 機器の構成パーツ, B. 装着イメージ(膝群)
- a. レーザー照射部(プリズムレンズで照射方向調節可能),
 - b. レーザー機器本体,
 - c. 電源ボックス

ブ) 上で1分間片脚立位を保持することとした。2 m 離れた壁に直径10cm 円の描かれた紙を貼り、その円内をターゲットとしてフィードバック機器からのレーザー光を留めるように指示した。この際の円の高さは、レーザーを床面に対して平行に照射できるように、対象者のフィードバック機器から足底までの長さでバランスパッドの和とした。対象者が健康者であり安定面であると容易に立位姿勢保持が可能であるため、姿勢制御練習課題の難易度を上げる目的で不安定面としてバランスパッドを用いた。その際の肢位は、裸足で上肢による姿勢制御を防止するために両上肢は胸の前で交差するよう指示した(図2)。1回の練習では、1分間の片脚立位保持を3セット行った。疲労を考慮して、各セット間で休憩を1分間取った。片脚立位姿勢が崩れ、非荷重足が床に触れたらストップウォッチを止め、体勢を整え再び1分間練習を行わせた。練習は週3回を2週間行った。

実験条件は、頭部の視標として額中央にフィードバック機器を装着した群(以下、頭部群)、立位での身体重心の位置に近い骨盤の視標として両側の上前腸骨棘を結んだ線への midpoint にフィードバック機器を装着した群(以下、骨盤群)、下肢の協調的な動きの中心である膝部の視標として支持脚(ボールを蹴る側とは反対側)の膝蓋骨中央部にフィードバック機器を装着した群(以下、膝群)、フィードバック機器を用いずに片脚立位保持練習を行った群(以下、コントロール群)の4群とした。対象者をこの4つの群にくじを用いて無作為に振り分けた。その結果、額群13名、骨盤群12名、膝群14名、コントロール群15名となった。

各群の練習効果の判定のために足圧中心動揺計(アニマ社製グラビコーダ GP-7)を用い、練習期

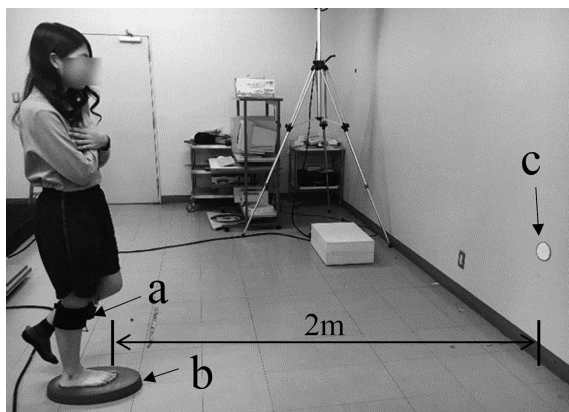


図2 片脚立位姿勢制御練習(膝群)

- a. 視覚情報フィードバック機器
b. バランスパッド, c. ターゲット(直径10cm)

間開始前と1週間後、2週間後の3期にバランスパッド上片脚立位時の総軌跡長(cm)と矩形面積(cm²)を練習日の翌日に測定した。総軌跡長と矩形面積は足圧中心の動揺の程度を表す代表的なパラメータである。これら2つの測定項目は、筋力や関節可動域など姿勢調節にかかわる運動能力を反映しており、転倒予防を想定した片脚立位姿勢制御練習の際に視覚的に認識すべき最も効果的な身体部位を検証するためには不可欠と考える。練習効果の判定のための足圧中心動揺の測定の際は、視覚情報フィードバックがない状態であっても姿勢制御練習の効果が持続しているか否かを確認するために、フィードバック機器を用いなかった。対象者に練習時と同様に測定時の姿勢制御課題の難易度を上げるためバランスパッド上で片脚立位を30秒間保持するよう指示した。測定時には、バランスパッドを重心動揺計の上に設置した。足圧中心動揺検査時には視覚入力刺激をできる限り統一しておくことが望ましいため¹⁰⁾、視線は2m先の壁に各対象者の目線の高さに合わせて貼付した目印を注視させた。対象者が片脚立位となったのちに、重心動揺計のモニターにて対象者のバランスが安定したことを確認し測定を開始した。測定自体が学習、慣れを引き起こしてしまうと考えられるために、1期における測定回数は3回とし、得た数値をそれぞれ平均した。1施行ごとに1分間の休憩を入れた。加えて、副次的アウトカムとして各群の姿勢制御練習について、そのやりやすさ、難易度について聴取した。

2.3 統計学的解析

総軌跡長と矩形面積の実測値について統計学的解析を実施した。正規性の確認のために Shapiro-Wilk 検定を行った結果、全てに正規性が認められた。よって、各群における片脚立位姿勢制御練習の効果を検討するために、群内比較として反復測定による分散分析とその他の検定として Tukey b の多重比較を行った。危険率は5%未満をもって有意とした($p < 0.05$)。なお、解析ソフトウェアは IBM SPSS Statistics 24 (IBM 社製)を使用した。

3. 結果

表1に足圧中心動揺の結果として、総軌跡長と矩形面積の実測値と、練習前を100%として正規化した値(percent Before Exercise: %BE)を示す。

総軌跡長において、膝群($F(1.310, 17.034) = 7.960, p < 0.01$)、骨盤群($F(1.270, 13.966) = 4.702, p < 0.05$)にて有意な減少が認められた。Tukey b を用いた多重比較によれば、膝群では練習前と比較して1週間後では有意に低値を示し($p < 0.05$)、2週間

表1 足圧中心動揺（総軌跡長，矩形面積）

		練習前		1週間後		2週間後	
		(cm)	(%BE)	(cm)	(%BE)	(cm)	(%BE)
総軌跡長	額群 (n=13)	127.9 ± 36.7	(100)	121.1 ± 28.1	(97.5 ± 17.0)	116.0 ± 22.6	(94.0 ± 17.4)
	骨盤群 (n=12)	129.3 ± 35.8	(100)	117.3 ± 20.0*	(94.5 ± 17.2)	112.5 ± 23.6	(90.3 ± 18.0)
	膝群 (n=14)	130.3 ± 37.6	(100)	112.7 ± 19.8*	(89.7 ± 15.5)	103.7 ± 19.3**†	(82.8 ± 17.4)
	コントロール群 (n=15)	117.1 ± 26.6	(100)	116.0 ± 29.4	(99.7 ± 15.7)	113.8 ± 31.3	(97.4 ± 15.3)
		(cm ²)	(%BE)	(cm ²)	(%BE)	(cm ²)	(%BE)
矩形面積	額群 (n=13)	13.3 ± 5.2	(100)	12.9 ± 3.6	(104.1 ± 27.5)	11.2 ± 2.1	(93.3 ± 30.0)
	骨盤群 (n=12)	18.8 ± 7.7	(100)	16.1 ± 7.7	(86.4 ± 22.3)	15.8 ± 6.6	(91.8 ± 41.1)
	膝群 (n=14)	16.4 ± 7.0	(100)	12.5 ± 3.3*	(84.6 ± 28.4)	11.3 ± 2.9**	(76.1 ± 23.8)
	コントロール群 (n=15)	16.7 ± 5.8	(100)	15.7 ± 5.6	(101.3 ± 38.1)	14.2 ± 5.8	(92.4 ± 38.1)

測定値の平均値 ± 標準偏差, %BE: percent Before Exercise
群内比較 *: p < 0.05, **: p < 0.01 (vs 練習前), †: p < 0.05 (vs 1週間後)

後では有意にさらに低値を示した (2週間後 vs 練習前: p < 0.01, vs 1週間後: p < 0.05). 骨盤群では練習前と比較して2週後に有意に低値を示した (p < 0.05). 額群 (F(2, 24) = 2.676, p = 0.089). コントロール群 (F(2, 28) = 0.323, p = 0.726) では, 2週間の経過において有意な減少は認められなかった.

矩形面積においては, 膝群で有意な減少が認められた (F(1.354, 17.607) = 7.200, p < 0.01). Tukey bを用いた多重比較によれば, 練習前と比較して1週間後及び2週間後で有意な減少が認められた (練習前 vs 1週間後: p < 0.05, vs 2週間後: p < 0.01). 額群 (F(2, 24) = 1.931, p = 0.236), 骨盤群 (F(2, 22) = 1.542, p = 0.341), コントロール群 (F(1.244, 17.418) = 1.035, p = 0.341) では有意な減少は認められなかった.

片脚立位姿勢制御練習時にレーザー光を円の中に留めるという課題のやりやすさ, 難易度について対象者から聴取した結果, 難易度が高いと感じていた対象者は膝群が最も多く, 順に骨盤群, 額群, コントロール群と少なくなった.

4. 考察

本研究では, 転倒予防を目的とした片脚立位姿勢制御練習の際に視覚的に認識すべき最も効果的な身体部位を検討した. 本研究結果より膝群, 骨盤群にて練習前と比較して2週後に足圧中心動揺が有意に減少した. 特に膝群では1週間後から有意な減少が認められ, 膝部の動揺を視覚的に認識し安定させることがより早く効率的に片脚立位姿勢制御能力の向上を可能にすることが示唆された. 姿勢制御における膝関節の方略は, 重心の上下移動に大きく関与し,

姿勢制御による重心移動が足関節と股関節戦略の許容量を超えたときに出現する¹¹⁾. このことは, 各関節は相互に影響し合っているという運動連鎖に関係していることを示している. 運動連鎖には, 足部から膝関節, 股関節, 体幹へと影響を及ぼす上行性運動連鎖と, 骨盤から股関節, 膝関節, 足部に向かって影響を及ぼす下行性運動連鎖が存在する¹²⁾. 運動連鎖による膝関節の運動は, 身体の動揺が生じ平衡反応が大きく生じると, 下行性連鎖による股関節内転, 外転に伴って, それぞれ外的膝外反モーメント, 外的膝内反モーメントが増大する¹³⁾. 一方, 上行性連鎖による距骨下関節の運動に連動して, 下腿と膝では回外運動に伴い足部に対する下腿外旋と膝内反が, また回内運動に伴い下腿内旋と膝外反が起こり¹⁴⁾, 荷重下では膝関節の運動はより大きくなると報告されている¹⁵⁾. これらのような点から膝関節は下行性および上行性運動連鎖の中間的存在であり, 上行性, 下行性どちらの運動連鎖にも影響されやすい. 前述の廣田ら⁹⁾の先行研究では, 膝部の動揺を認識し, 本研究と同様にその動揺を抑制するように片脚立位姿勢制御練習を行っている. その効果判定としての足圧中心動揺の測定の際, 同時に腓骨頭部に貼付した三軸加速度計を用いて膝部の加速度を測定し, その値から動揺幅の指標となる Root Mean Square (以下, RMS) を算出して, その経時的変化を検討している. その結果, 2週間の片脚立位姿勢制御練習で有意な減少を示した足圧中心動揺とは異なり, 膝部の動揺幅に有意な減少は認められなかった. この先行研究と本研究での膝群では, バランスパッド上という不安定面上で片脚立位姿勢制御練習を行う際, フィードバック機器によるレーザー

光を直径10cmの円内に留めるように膝部の動揺を能動的に抑制し、運動連鎖に参加をさせないようにしている。そのため、股関節と足関節は膝関節の運動を用いずに姿勢制御を行わざるを得なくなったことから、片脚立位姿勢制御練習中における股関節、足関節への代償的な負荷が高くなったと推測される。その結果として、参考として聴取した片脚立位保持の難易度に関する感想で、「難しい」と回答した対象者は膝群が最も多かったように、膝群での練習時では片脚立位を保持する難易度が高くなることが推測される。一方測定時には、フィードバック機器を用いないために膝部の能動的な抑制から解放され、姿勢制御に膝関節方略が関与することが可能となる。このことは、先行研究での効果判定における膝部の動揺幅に経時的な変化がみられなかったことから推測することができる。これらのことから、練習時と測定時での片脚立位保持に対する難易度に大きな差が生じており、より難易度の高い練習を行っていた膝群では、測定の際に練習の効果が顕著に表れた結果、他の群と比較してより早く総軌跡長および矩形面積が減少したと考える。

骨盤群においても練習前と比較して2週後で総軌跡長に有意な減少が認められた。このことは、骨盤群でも膝群と同様の理由、すなわち、練習時では骨盤の動きを能動的に抑制するために、股関節、膝関節、足関節の3関節の代償的な動きが骨盤の位置を安定させるように働き、測定時には骨盤部の抑制が解放されるために難易度が下がることからと考える。膝群が1週後から足圧中心動揺の減少が認められたことと比較して練習効果に差が生じたのは、骨盤群では下肢3関節での制御が可能であることに対して、膝群は足関節、股関節の2関節での制御を強

いられており、難易度に差が生じているためと考える。額群では2週間の片脚立位姿勢制御練習では足圧中心動揺の有意な減少は認められなかった。額は、足部から波及する上行性運動連鎖において本研究の実験条件の中では最も遠い位置に存在する。下肢の運動連鎖は連結した各体節を通じて動きが波及するため、動きの起点となる部分から離れば離れるほど、その効果は減弱するといわれている¹³⁾。足圧中心動揺を制御する際、頭部は骨盤や、下肢などの多くの関節で代償されるため、頭部の動揺を能動的に抑制することは姿勢制御への影響が他の条件と比較して小さかったことから、2週間の練習では有意な減少は認められなかったと考える。

本研究結果より、ダイナミックフラミンゴ運動に代表される転倒予防を目的とした片脚立位姿勢制御練習の際に視覚的に認識すべき最も効果的な身体部位は膝部であることが示唆された。そして、練習時には膝部の動揺を能動的に抑制することを意識することで、より効果的であることが示された。本研究の限界としては、対象者が健常若年女子学生であるために、転倒を予防すべき高齢者にこの結果をそのまま適用するのは難しい点である。本研究では対象者が若年成人女子学生であるため課題の難易度を上げるためにバランスパッドを用いたが、高齢者にとっては難易度が高すぎる可能性がある。さらに、膝部の動揺を能動的に抑制することは難易度が高いため、高齢者に適した難易度の設定が必要である。今後は、高齢者を対象として、膝部の動揺を能動的に抑制しながらダイナミックフラミンゴ運動としての片脚立位姿勢制御練習を行うことの効果とその課題の難易度を含めて検証していくことが残された課題である。

文 献

- 1) 厚生労働省：平成28年国民生活基礎調査の概況。結果の概要。IV 介護の状況。
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa16/dl/05.pdf>, 2017. (2020.3.5確認)
- 2) 塩田琴美, 高梨晃, 野北好春, 松田雅弘, 川田教平, 宮島恵樹, 池田誠：視線行動と姿勢制御の関連性についての検討—高齢者と若年者の比較—。理学療法科学, 24, 821-825, 2009.
- 3) 石川康伸, 平井達也, 吉元勇輝, 若月勇輝, 藁科弘晃：視覚情報の位置が健常成人の立位制御に及ぼす影響。理学療法科学, 31, 127-130, 2016.
- 4) Shumway-Cook A and Woollacott MH : *Motor control: Theory and practical applications*, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2001.
- 5) Wilkie R and Wann J : Controlling steering and judging heading: Retinal flow, visual direction, and extraretinal information. *The Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 363-378, 2003.
- 6) 中村隆一, 斎藤宏, 長崎浩：基礎運動学。第6版補訂, 医歯薬出版, 東京, 2018.
- 7) 経堂恵美, 佐藤比呂子, 尾田敦, 三浦孝雄：視覚情報の増加が健常者の重心動揺に及ぼす影響。東北理学療法学, 12, 57-62, 2000.
- 8) Sakamoto K, Sugimoto F, Sato Y, Fujimaki E and Tashiro Y : Dynamic flamingo therapy for prevention of

- femoral neck osteoporosis and fractures: Part 1: theoretical background. *The Showa University Journal of Medical Sciences*, 11, 247-254, 1999.
- 9) 廣田真由, 種谷茉晶, 大坂裕, 小原謙一: 視覚情報フィードバックを用いた片脚立位姿勢制御練習の効果—レーザーポインターを使用した新しい姿勢制御練習器の検証—. *川崎医療福祉学会誌*, 28, 433-439, 2019.
 - 10) 菊川正人, 宮下義和, 田口喜一郎: 重心動揺検査における視標の意義—身体動揺の研究 第25報—. *Equilibrium Research*, 46, 279-282, 1987.
 - 11) 山本尚司: ロコモティブシンドロームのメカニズムと運動連鎖—姿勢制御とストラテジーからのアプローチ—. *The Journal of Clinical Physical Therapy*, 18, 5-11, 2016.
 - 12) 近藤崇史: 足部機能と下肢運動連鎖. *臨床スポーツ医学*, 30, 255-260, 2013.
 - 13) 建内宏重: 股関節と下肢運動連鎖. *臨床スポーツ医学*, 30, 205-209, 2013.
 - 14) Inman VT, Ralston H and Todd F: *Human walking*. Edwin Mellen Press, New York, 1989.
 - 15) Lattanza L, Gray GW and Kantner RM: Closed versus open kinematic chain measurements of subtalar joint eversion: Implications for clinical practice. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 9, 310-314, 1988.

(令和2年11月6日受理)

Investigation of Body Parts as Effective Targets for One-footed Standing Exercise with Visual Feedback

Riho SOGABE, Kenichi KOBARA and Hiroshi OSAKA

(Accepted Nov. 6, 2020)

Key words : visual feedback, one-footed standing exercise, target, body part

Abstract

The purpose of this study was to examine body parts as effective targets during one-footed standing exercises for fall prevention. Fifty-four healthy young women were recruited. A feedback device was used that could be attached to any body part and illuminated on the wall with a laser to make it easier to visually recognize the sway of that part. The participants were randomized to one of the four following groups: a group that was conscious of the forehead, one conscious of the pelvis, one conscious of the center of the patella, and a control group. As for the exercise, the participants continued to stand for one minute with one leg on the balance pad. The exercise was performed three days a week for two weeks. The rectangular area and length of center of pressure as the center of posture sway was measured before, one week after, and two weeks after the exercise. The posture sway of the center of the patella group showed significant decrease after 1 week and further decrease after 2 weeks ($p < 0.05$). These results suggested that the body part as an effective target during one-footed standing exercise for fall prevention was the center of the patella.

Correspondence to : Kenichi KOBARA

Department of Physical Therapist

Faculty of Rehabilitation

Kawasaki University of Medical Welfare

Kurashiki, 701-0193, Japan

E-mail : rptkob@mw.kawasaki-m.ac.jp

(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.30, No.2, 2021 513–518)