

原 著

足底感覚入力の増強と視覚情報フィードバックによる膝部動揺の制御を併用した立位姿勢制御練習の効果検証

上川真奈*¹ 小原謙一*² 大坂裕*² 黒住千春*³

要 約

本研究は、足底感覚入力の増強と視覚情報フィードバックによる膝部動揺を制御することの併用が立位姿勢制御練習の効果に及ぼす影響を検討することを目的として実施した。対象は、健康若年成人57名（年齢 20.5 ± 0.8 歳）であった。姿勢制御練習として、バランスパッド上で立位を1分間保持することを1日3回、週に3日を2週間継続した。対象者は足底感覚入力の増強を用いて練習を行った群、視覚情報を用いて練習を行った群、2つの介入を併用して練習を行った群、どちらの介入も用いないで練習を行った群、練習を行わないコントロール群の5群に無作為に振り分けられた。重心動揺計を用いて、矩形面積と総軌跡長を練習前、1週後、2週後に測定した。本研究の結果、2つの介入を併用した群では矩形面積、総軌跡長ともに練習開始2週後に有意な減少を示した ($p < 0.05$)。本研究結果から、足底感覚入力の増強と視覚情報フィードバックを併用して姿勢制御練習を行うことが、立位の安定性の向上に対して有効である可能性が示唆された。

1. 緒言

人口の高齢化、特に75歳以上の後期高齢者の急増により、要介護の高齢者数は急激に増加している。このような要介護高齢者の増加に対応するために、2000年4月から介護保険が導入された。この制度によって介護の充実を図るとともに、要介護状態にならないで過ごす期間、つまり活動的平均余命（健康寿命）を長くすることがQOL向上の視点から重要である。このような中で、要介護の最も典型的な状態であるいわゆる「寝たきり」の最大の原因である脳血管疾患への対策は多数試みられている。その結果として、およそ20年前から、脳血管疾患が減少傾向にあるとともに、脳血管疾患による寝たきり発生率は低下していると報告されている¹⁾。一方、「寝たきり」の原因の第3位である転倒・骨折の割合は増加してきており²⁾、適切な対策を立てることは急務である。

姿勢を維持するためには、視覚、前庭感覚、体性感覚からの情報が重要である³⁾。それらの中でも視覚情報は、姿勢制御の上で重要な役割を果たしてい

る^{4,5)}。視覚は、ヒトとその周辺に関する位置関係を認識し、その重要な感覚情報を中枢システムへ伝えることで姿勢を維持することができる⁶⁾。運動との関連では、中心視覚と周辺視覚の区分が重要である。前者は、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。後者は、身体周囲の空間にある物の位置や運動の情報を伝える。このように運動の計画用の視覚情報と制御用の視覚情報があるとされている⁷⁾。さらに、床面と接している足底部の体性感覚も立位姿勢を保持している健康者の主要な感覚入力として重要である⁸⁾。ヒトの足部は立位や歩行において唯一地面と接する部位であり、緩衝や荷重分散などの力学的機能を持つ運動器としての役割と、接地面情報を中枢に伝達する役割を持つ感覚器としての機能を備えている⁹⁾。

視覚情報を姿勢制御能力の向上を目的とした運動療法に利用する手段として、視覚情報フィードバックがある。視覚入力は、周囲にある物体の相対的な位置関係の情報を提供することから、頭部の位置や移動に関する情報源となる。そして、視覚から得ら

*1 川崎医科大学附属病院 リハビリテーションセンター

*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

*3 川崎医療福祉大学 リハビリテーション学部 作業療法学科

(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

れた情報を運動に変換して姿勢制御や運動学習を行うことを視覚情報フィードバックという。視覚情報フィードバックの種類には鏡や家庭用ゲーム機を用いる方法があるが、鏡を使用する場合は鏡に全身が写ってしまうため、どこに焦点をあてるべきかわりにくいという欠点がある。その欠点を補うために小原らの研究グループは姿勢制御練習器としてレーザーを使用した視覚情報フィードバック装置(以下、レーザー装置)を考案し(特許出願中:特願2017-177327, 出願人:学校法人 川崎学園, 発明者:小原謙一), その効果を検証している^{10,11)}。このレーザー装置は、上述の2つの視覚情報のうち主に中心視覚を利用したものである。廣田ら¹⁰⁾は膝部にレーザー装置を装着し、膝部の位置を視覚で捉え膝部動揺を制御しながら片脚姿勢制御練習を行うことの効果を検証している。その結果、2週間の練習による足圧中心(center of pressure: COP)動揺の矩形面積の経時的変化をみると、視覚情報を用いて練習した群は膝部にレーザー装置を装着せずに練習した群と比較して統計学的に有意な減少を認めたと報告している。効果判定のための足圧中心動揺測定の際には、レーザー装置を用いていない。この片脚立位姿勢制御練習はダイナミックフラミンゴ運動として転倒予防を目的とした運動であり、その有効性が報告されている¹²⁾。これらのことから、視覚情報フィードバックを用いて膝部動揺を制御しながら片脚立位姿勢制御練習を行うことが転倒予防に対してより有効であることが示唆される。一方、小原と吉岡⁸⁾は直径6mmで厚さ1mm程度の凸部のある靴インソールにより足底を刺激して足底感覚の入力を増強することが姿勢制御能力に及ぼす即時的効果について検討している。その結果、足底感覚入力の増強によって静的な立位姿勢制御能力が向上したと報告している。さらに峯松と羽崎¹³⁾は、高齢者に対して1回15分間、1週間で2回の頻度で足底に振動刺激を入力することを3か月継続することによって、重心動揺計の測定項目である総軌跡長と外周面積が有意に低下し、静止立位の安定性が改善したことを報告している。加えて藤田ら¹⁴⁾は、75歳以上の19名の後期高齢者を対象とし、足底知覚課題として、硬度の異なるスポンジマットを使用し、後期高齢者の立位姿勢バランスに対する足底知覚トレーニングの介入効果について検討している。その結果、日数の経過に従い、足底知覚能力の向上を認め、後期高齢者においても知覚学習が成立することが判明したと述べている。このことから、対象を健常成人ではなく高齢者とした際にも、足底への刺激は足底知覚能力を向上させ、立位姿勢制御能力を向上させる有用な介入方法である

と考えられる。これらのように足底全体への刺激の有無が、立位姿勢制御能力に及ぼす影響についての報告は散見される。そして、足底刺激による足底感覚入力の増強と視覚情報フィードバックによる膝部動揺の制御を行うことで立位姿勢制御能力の向上が推測されるが、この2つの介入を併用することによる姿勢制御練習の効果に関する報告は筆者らが渉猟する限りにおいては見当たらなかった。

そこで本研究では、重心動揺計を用いて足底刺激による足底感覚入力の増強と視覚情報フィードバックによる膝部動揺の制御を併用した立位姿勢制御練習の効果を検証することを目的に実験を行った。

2. 方法

2.1 対象者

対象は整形外科及び神経学的疾患の既往のない健常若年成人57名(男性23名, 女性34名)であった。年齢, 身長, 体重の平均±標準偏差は, それぞれ20.5±0.8歳, 162.2±8.4cm, 58.4±10.8kg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および方法, 個人情報の保護に関して十分に説明し同意を得た。なお、本研究は川崎医療福祉大学倫理審査委員会の承認後に実施した(承認番号:20-036)。

2.2 姿勢制御練習器具

本研究で用いた姿勢制御練習器具は、足底刺激による足底感覚入力の増強を行う手段としての靴インソール(橋本義肢製作株式会社製, 特注品)と、視覚情報フィードバックを行う手段として前述のレーザー装置を用いた。靴インソールは、全面に直径6mm, 厚さ1mmの凸部のあるインソールであり、凸部によって足底刺激を行うものである(図1)。小原ら⁸⁾は前足部に凸部のある靴インソールを足底部に相当する位置に設置することによって片脚立位時の姿勢制御能力が向上したと報告している。本研究では、歩行周期の中でも足底全面で荷重を受ける荷重応答期に相当する支持脚移行期に着目した。そのため、前足部のみではなく足底全面に凸部のある靴インソールを設置することによって立脚肢での足底感覚入力の増強を行うこととした。

レーザー装置(橋本義肢製作株式会社, 特注品)は、レーザー照射部にプリズムレンズを使用することで、光が屈曲し任意の方向に照射することが可能である。レーザー装置の質量は200g程度であり、その質量自体が姿勢に及ぼす影響は少ないと考えられる(図2)。この装置はレーザー光線を使用しているため、膝部のわずかな動揺が投射先では大きく反

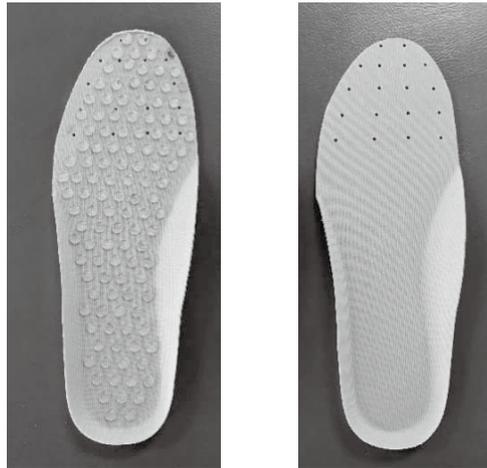


図1 靴インソール（左脚用）

- A. 凸部あり（足底感覚群, 併用群）
- B. 凸部なし（視覚情報群, コントロール群）

凸部は足底全面に配置
 大きさは直径6mm, 高さ1mm, 樹脂製
 足底で踏み込んでも変形しない硬さ

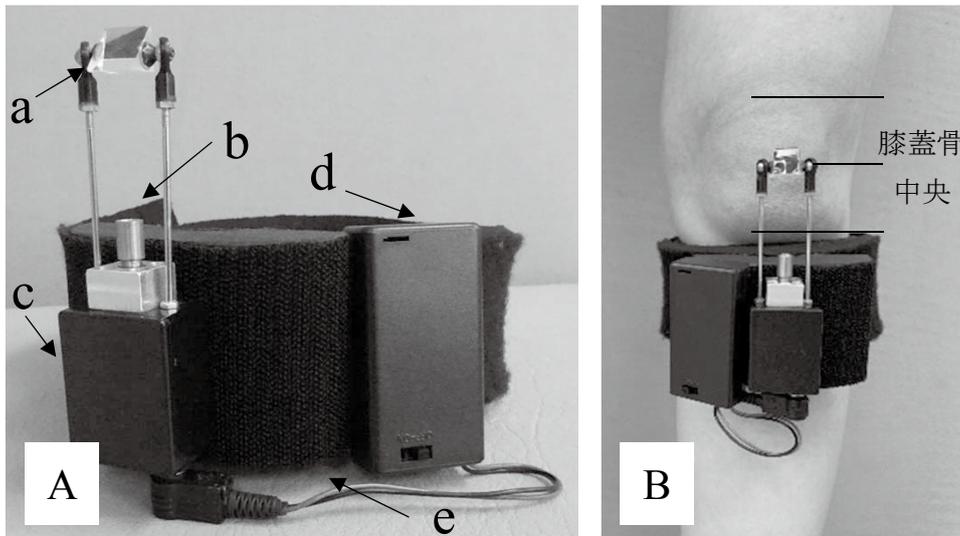


図2 視覚情報フィードバック装置（レーザー装置）の構成

- A. 装置の構成部品, B. 装着イメージ（視覚情報群, 併用群）
- a. プリズムレンズ
- b. レーザー照射部（プリズムレンズにて照射先を調節可能）
- c. レーザー装置本体, d. 電源ボックス, e. 装着用ベルト

膝蓋骨中央にプリズムレンズが位置するように装着し, 2m前方の壁面に水平にレーザー光を投射できるようにプリズムレンズの角度を調節する

映し, 的から外れてしまう. このように, レーザー装置を使用した練習では対象者自身が変化を視覚にて捉えやすい点が優れている.

2.3 姿勢制御練習

姿勢制御練習時の肢位について本研究では, 前述

のように歩行周期の支持脚移行期に着目した. 支持脚移行期は, 支持脚が両脚支持期を介して反対側へ急速に移行し, 重心から床面への投影点とCOPの位置の乖離が大きくなる時期であるため, バランスを崩す危険性が高いと考えられる. 新井ら¹⁵⁾は, 歩

行周期変動と転倒との関連を研究しており、転倒群は非転倒群と比較して有意に歩行周期変動が増加していたと報告している。また、歩行周期変動と運動機能との相関分析では有意な中等度の相関を示しており、歩行周期変動と運動機能、および転倒の間には関連性があると考えられる。重心から床面への投影点とCOPの位置の乖離が大きい支持脚移行期は、歩行周期変動幅が拡大しやすい時期であると推測されることにより、転倒リスクが高いと考えられる。これらのことより本研究では、姿勢制御練習の肢位を考慮する際に支持脚移行期を想定して実験を実施することとした。したがって下肢については、ボールを蹴る側であるいわゆる「利き脚」の反対側の軸脚を前方に踏み出して立位をとるように指示した。踏み出す距離は踏み出した側の脚の踵と、

踏み出していない側の脚の足先の距離が10cmになるように設定した。これは、歩行周期における支持脚移行期を再現した肢位であり、高齢者での姿勢制御練習を想定したときに、片脚立位よりも安全に練習を行うためである。加えて、上肢でバランスを保持することを防止するために両上肢を胸の前で交差させた。視線については、視覚情報を用いる場合には膝の高さに合わせて2m離れた壁に貼ったレーザー光的を注視させた。視覚情報を用いない場合には、練習肢位をとった際の目線の高さに合わせて2m離れた壁に貼った的を注視させた。なお、靴自体の硬さや形状の違いによる差を生じさせないために、姿勢制御練習は靴を使用せずに裸足で実施した(図3)。対象が健常成人であることから、課題の難易度を上げるために前方の脚の下にはバランスパッド

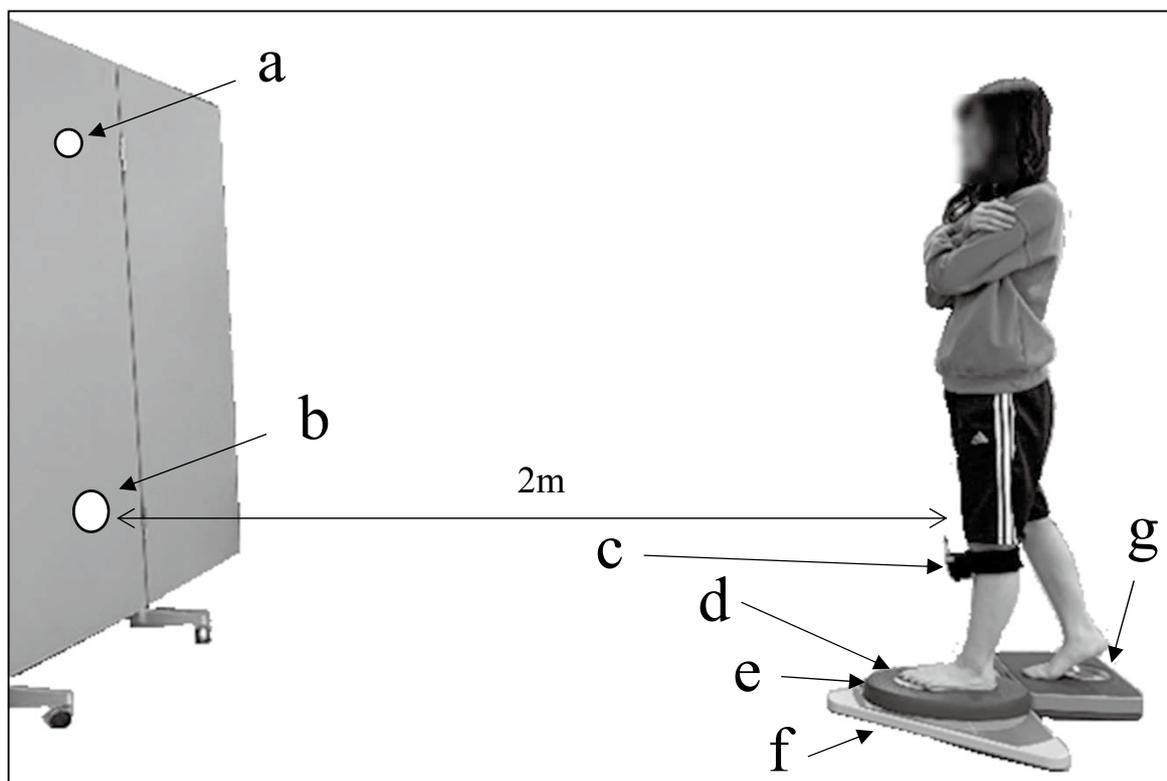


図3 姿勢制御練習風景(併用群)

- a. 視線マーカー(足底感覚群, 非介入群の練習時と全群のCOP測定時に注視)
- b. レーザー照射的(円形:直径10cm, 視覚情報群, 併用群では練習時に注視)
- c. レーザー装置(視覚情報群, 併用群で使用)
- d. 靴インソール(足底感覚群, 併用群では凸部あり, 視覚情報群, 併用群では凸部なしを使用)
- e. バランスパッド, f. 重心動揺計, g. 体重計

歩行周期の支持脚移行期を想定して、軸脚を前方(前方脚の踵~後方脚足先の距離:10cm)へ踏み出した肢位にて姿勢制御練習およびCOP測定を実施。後方脚部の体重計を確認し、後方脚の荷重量を体重の15~25%となるように指示することで前方の軸脚への荷重量を体重の75~85%となるように制御。練習時、測定時共に靴は不使用で裸足にて実施。測定時は、全群にて靴インソール、レーザー装置は不使用。

ド (Thera band社製スタビリティトレーナー, ソフトタイプ) を設置した。バランスパッドは, ポリ塩化ビニール製で柔らかく, その上で片脚立位等の姿勢を保持することによって不安定な床面での姿勢制御となる。一方, 後方脚は荷重する体重の割合を確認するために体重計の上に乗せた。この時, 前方のバランスパッドと後方の体重計高さが同等になるように調節した。軸脚に被験者の体重の75~85%の荷重がかかるように体重計にかかる後方脚の荷重を体重の15~25%とするように対象者に指示した。軸脚にかかる75~85%の荷重については, 歩行の際に両脚支持から単脚支持に移行するときに体重の75~85%の荷重が単脚側にかかっており, 歩行時の支持脚移行期を再現するためにこの割合とした⁷⁾。練習は週3回の練習を2週間実施した。1セットの練習は, 1分間の指定肢位保持を3回とし, 各練習の間に座位にて1分間の休憩を挟んだ。練習期間, 頻度は, 本研究のレーザー装置と同様の機器を用いて, 視覚情報フィードバックによる膝部動揺を制御しながらの片脚立位姿勢制御練習効果を検証し, 実証されたことを報告している上述の廣田ら¹⁰⁾の先行研究に準拠して決定した。

2.4 実験条件

実験条件は, 足底刺激による足底感覚入力の増強の手段として靴インソールを用いて練習を行った群 (以下, 足底感覚群), 膝部の動揺を視覚情報にてフィードバックしながら制御する手段としてレーザー装置を用いて練習を行った群 (以下, 視覚情報群), 上記2つの介入を併用し練習を行った群 (以下, 併用群), 上記2つの介入をどちらも用いないで練習を行った群 (以下, 非介入群), 練習を行わない群 (以下, コントロール群) の計5群に設定し, くじを用いて対象者を無作為に振り分けた。その結果, 足底感覚群12名, 視覚情報群11名, 併用群11名, 非介入群10名, コントロール群13名となった。

足底感覚群は, 前述の靴インソールをバランスパッド上に設置し, 足底刺激を行うことで足底感覚入力の増強を行った。靴インソールの有無によって足底に入力されるバランスパッドの硬さの影響を考慮するために, 視覚情報群と非介入群の練習時には同じ硬さと形状で凸部のないインソールをバランスパッド上に設置した。視覚情報群は, 最も効果的に姿勢制御能力を向上させると報告されている軸足の膝蓋骨中央部にレーザー装置を装着し¹¹⁾, レーザー装置の照射部を膝蓋骨中央の高さに合わせた。前方2m離れた壁に直径10cmの円形的を貼り, 視覚情報群の練習中はその的をターゲットとして, レーザー光を円内に留めるように指示した。レーザー装

置固定のために下腿近位部にベルトを巻いたため, 足底感覚群と非介入群の練習時にも下腿に加わる圧迫力の条件を視覚情報群と併用群と同様にするためにベルトのみを装着した。併用群は, 足底感覚群と視覚情報群の介入を併用して練習を行った。非介入群は膝部動揺の視覚情報フィードバックと足底刺激による足底感覚入力の増強を行わずに姿勢制御練習のみを行った。コントロール群については3回のCOP動揺測定のみであり, 姿勢制御練習を実施しなかった。

2.5 COP動揺測定方法

本研究で行った姿勢制御練習の効果判定のために, 重心動揺計 (アニマ社製グラフィコーダGP-7) を用いて開眼でのCOP動揺を測定した。なお, 姿勢制御練習に用いる介入の姿勢制御能力向上効果を検討するために, 測定時には全ての群でインソール及びレーザー装置は用いなかった。さらに, 測定時に靴を使用してしまうと, 靴の形状, ソールの硬さなどの違いがデータに影響してしまうため, 靴を使用せずにCOP測定を実施した。COP動揺測定は姿勢制御練習の開始前と, 1週間および2週間後の計3期で各期1回ずつ実施し, 測定時間はそれぞれ1分間とした。結果の知識 (knowledge of results: KR) の与え方によって測定結果が変化する可能性があるために, 測定結果については対象者には知らせなかった。1週間および2週間後の測定は, 姿勢制御練習の即時効果による影響を防ぐために姿勢制御練習の翌日以降に実施した。COP動揺測定時の肢位は上述の姿勢制御練習での肢位と同様とした。姿勢制御練習前の初回測定時には, 事前に軸足に75~85%の荷重をかける感覚を掴むために対象者が荷重の感覚をつかめるまで練習を行った。

COP動揺の分析対象項目として矩形面積 (cm²) と総軌跡長 (cm) を採用した。これら2つの指標は, 筋力や関節可動域などの姿勢制御に関わる運動能力を反映しており, 歩行時の転倒予防を想定した足底感覚入力の増強と視覚情報フィードバックによる膝部動揺制御を用いた立位姿勢制御練習法の効果を検証するためには不可欠と考えられるためである。

2.6 統計学的解析

正規性の確認のためにShapiro-Wilk検定を用いた結果, すべての値で正規性を認めた。よって, 各群の経時的変化を検討するために, 群内比較に反復測定分散分析とTukey bの多重比較を用いた。加えて, 群間における効果の差を検討するために, 一元配置分析とBonferroniの多重比較を用いて, 各期における群間の比較を行った。いずれも危険率5%未満をもって有意とした ($p < 0.05$)。なお, 統計学

的解析には SPSS Statistics 24 (IBM 社製) を用いた。

3. 結果

表1に各群の足圧中心動揺の測定値と練習前を100%として正規化した値を示す。

経時的変化の検討のための群内比較では、足底感覚群は矩形面積、総軌跡長ともに有意差は認められなかったが(矩形面積: $F(2, 22) = 1.504$, $p = 0.244$, 総軌跡長: $F(2, 22) = 1.438$, $p = 0.259$), 矩形面積に関しては、練習前と比較して2週後に低値を示す傾向にあった($p = 0.08$)。視覚情報群は矩形面積、総軌跡長ともに有意差は認められなかった(矩形面積: $F(2, 20) = 1.2$, $p = 0.322$, 総軌跡長: $F(2, 20) = 0.944$, $p = 0.406$)。併用群について、矩形面積($F(2, 20) = 6.710$, $p = 0.006$)では、練習前および1週間後と比較して2週後に有意に低値を示した(2週間 vs 練習前: $p < 0.01$, vs 1週間後: $p < 0.05$)。総軌跡長($F(2, 20) = 3.995$, $p = 0.035$)では、2週後は練習前と比較して有意に低値を示し($p < 0.05$)、1週間後と比較して低値を示す傾向にあった($p = 0.08$)。非介入群は矩形面積、総軌跡長ともに有意差は認

められなかった(矩形面積: $F(2, 18) = 2.189$, $p = 0.166$, 総軌跡長: $F(2, 18) = 1.486$, $p = 0.253$)。コントロール群は矩形面積、総軌跡長ともに有意差は認められなかった(矩形面積: $F(2, 24) = 0.338$, $p = 0.716$, 総軌跡長: $F(2, 24) = 0.217$, $p = 0.806$)。

群間比較では、2週間後においてコントロール群と比較して、併用群と非介入群が有意に低値を示していたが($p < 0.05$)、その他の測定期および群間には有意な差は認められなかった。

4. 考察

本研究結果では、足底刺激による足底感覚入力の増強と視覚情報フィードバックによる膝部動揺の制御を併用した姿勢制御練習を2週間実施することで、2週間の練習後の矩形面積と総軌跡長が練習前及び1週間の練習後と比較して有意に低値を示した。足底感覚入力の増強のみを練習に用いた群と視覚情報フィードバックのみを練習に用いた群では有意差を示さなかったにも関わらず、2つを併用して練習した群においてはCOP動揺が低値を示したことから、本研究で用いた凸部のある靴インソールとレーザー装置を併用した姿勢制御練習は姿勢制御能力の向上

表1 足圧中心動揺(矩形面積, 総軌跡長)

表1-1 足圧中心動揺(矩形面積 (cm²))

	足底感覚群(n=12)		視覚情報群(n=11)		併用群(n=11) [‡]	
練習前	12.4 ± 4.8 [†]	(100)	13.9 ± 9.0	(100)	15.2 ± 6.9**	(100)
1週間後	10.1 ± 4.9	(93.8 ± 56.6)	10.1 ± 4.5	(100.0 ± 64.0)	11.4 ± 5.4*	(82.9 ± 39.9)
2週間後	9.8 ± 4.8	(80.3 ± 35.2)	9.9 ± 7.1	(94.5 ± 65.3)	8.1 ± 2.4	(59.7 ± 20.7)
	非介入群(n=10) [‡]		コントロール群(n=13)			
練習前	11.8 ± 6.0	(100)	15.7 ± 7.6	(100)		
1週間後	11.2 ± 9.2	(92.2 ± 30.5)	13.8 ± 7.3	(104.3 ± 66.5)		
2週間後	7.1 ± 3.1	(72.1 ± 43.8)	13.8 ± 4.8	(113.6 ± 85.8)		

表1-2 足圧中心動揺(総軌跡長 (cm))

	足底感覚群(n=12)		視覚情報群(n=11)		併用群(n=11)	
練習前	190.9 ± 63.4	(100)	159.6 ± 43.0	(100)	180.8 ± 41.3*	(100)
1週間後	164.6 ± 71.6	(89.7 ± 29.6)	150.0 ± 30.3	(98.4 ± 17.5)	167.2 ± 30.7 [†]	(95.2 ± 19.8)
2週間後	174.7 ± 62.6	(92.8 ± 27.4)	143.0 ± 30.8	(94.5 ± 22.7)	152.4 ± 25.3	(86.8 ± 16.3)
	非介入群(n=10)		コントロール群(n=13)			
練習前	157.8 ± 31.5	(100)	183.0 ± 41.1	(100)		
1週間後	148.0 ± 29.2	(94.6 ± 13.2)	176.6 ± 50.3	(100.9 ± 34.5)		
2週間後	144.9 ± 37.8	(91.8 ± 17.4)	187.0 ± 46.4	(106.5 ± 32.1)		

測定値(%練習前)の平均値 ± 標準偏差

群内比較 (Tukey bの多重比較) : [†]: $p < 0.10$, * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$ (vs2週間後)

群間比較 (Bonferroniの多重比較) : [‡]: $p < 0.05$ (2週間後: 併用群, 非介入群 vs コントロール群)

に対して効果があることが実証されたと考える。小原と吉岡⁸⁾は、健康人40名を対象とし、靴インソールによる足底刺激部位がCOP動揺に与える影響を検討した。その結果、前足部に足底刺激を入力した群はコントロール群と比較して外周面積と矩形面積において有意に低値を示すことを報告した。水越ら¹⁶⁾は、75歳以上の高齢者を対象に開眼と閉眼でCOP動揺を測定した結果、閉眼時においてCOP動揺が有意に増大していた。これらの2つの先行研究から、姿勢制御において足底感覚情報と視覚情報が重要であることが示唆される。本研究において、全面に凸部のある靴インソールとレーザー装置を併用して姿勢制御練習を2週間継続して行うことによって、練習後には2つの介入を用いなくとも、足底感覚の変化と膝部の動揺を制御することが可能となったことから、姿勢制御能力が向上したと考えられる。また、板谷と木塚¹⁷⁾は、不安定面上でのバランスエクササイズが姿勢制御における感覚依存性に及ぼす即時効果について、下肢からの体性感覚入力と視覚情報入力への依存性に着目して検討しており、不安定面上での閉眼立位は視覚遮断と下肢体性感覚に対する外乱の相乗効果により、安定面上での閉眼立位よりもCOP動揺が大きくなったと報告している。このことから、姿勢制御はより多くの感覚を統合する方がより効果的であると考えられる。

足底感覚群と併用群において、総軌跡長と比較して矩形面積が大幅な減少を示した。総軌跡長は、COP軌跡の移動量であり、矩形面積は、COPが移動した範囲の面積のことである。また、立位姿勢を保持する方略として、3つの協調方略がある^{18,19)}。足関節の底背屈運動を行いながらバランスをとる足関節方略、股関節の屈曲伸展および内転外転運動を行いながらバランスをとる股関節方略、そしてCOPが支持基底面の範囲を超えてしまいそうな場合、一側下肢を前後左右いずれかの方向に踏み出すことで支持基底面の範囲を広げてバランスをとるステップ方略である。COPの移動範囲が少ない場合は、足関節方略で平衡を維持するが、COPの移動範囲が大きくなるにつれて、股関節方略で対応するようになると言われている¹³⁾。足関節方略を用いた場合、より狭い範囲で細かく軌道修正を行うようになり、総軌跡長と比較して矩形面積は大きく減少すると考えられる。本研究では、足底感覚群と併用群において、靴インソールの凸部による足底感覚入力の増強により身体が動揺した際に動揺した側の足底部位が刺激され動揺が大きくなる前に足関節方略を用いて軌道修正を行うことが可能になり、それが靴インソールを用いていない測定時にも効果として持続し

ていたと考える。

視覚情報群では有意な減少が見られなかった。前述の廣田ら¹⁰⁾の研究では、膝部からレーザーを照射することによって膝部の動揺を視覚的に捉え制御することが不安定面での片脚立位制御に及ぼす影響を検討した結果、視覚情報フィードバックを用いた2週間の姿勢制御練習の効果によって視覚情報フィードバックを用いない環境下でもCOP動揺を有意に減少し得ることを報告していた。しかしながら、本研究の練習肢位や測定肢位は歩行時の支持脚が反対側へ移行していく時期を想定しており、前方に踏み出した軸足に被験者の体重の75~85%の荷重をかけた両脚立位支持で行っている点が片脚立位支持で行った先行研究とは異なっている。これは先行研究の肢位よりも立位姿勢保持という観点からは比較的難易度が低い設定となっている。一方で、本研究では練習肢位と測定肢位で前方の脚と後方の脚にかかる荷重を制限していたことにより、視覚情報群の対象者からレーザー照射の位置と肢位の制限に注意を払うことによって姿勢制御を行うことが困難であったと聴取された。島と池添²⁰⁾は、高齢者における安静立位重心動揺によるバランス課題に認知課題を加えた二重課題バランス能力と転倒の関連について検証している。その結果、高齢者の安静立位における重心動揺面積において、二重課題は単純課題よりも高値を示しており、これは、二重課題下で注意分配の十分な処理を行うことができなかったのではないかと考えられている。本研究においては、視覚情報群における視覚情報フィードバックによる膝部動揺の制御と練習肢位の制限が二重課題に該当すると考えられる。これらの二重課題により姿勢制御への注意分配を十分に行うことができず、視覚情報群では姿勢制御能力の向上が得られなかったと考えられる。併用群では練習時に姿勢制御に用いることができる情報が膝部動揺の視覚情報のみである視覚情報群よりも多いために、測定時に靴インソールとレーザー装置を用いずとも練習効果によってCOP動揺の経時的な減少が認められたと考える。

非介入群は、姿勢制御練習を行っていたにも関わらず、注意の対象が人によって異なったため結果にばらつきが生じたことにより経時的な有意な減少を示さなかったと考えられる。このことから、適切な情報を用いて注意を向けるべき対象を明確にすることが、効果的な姿勢制御練習には必要であることが再確認されたと考える。

以上のように、経時的变化を検討すると足底感覚入力の増強と視覚情報フィードバックによる膝部動揺の制御の併用による姿勢制御練習が姿勢制御能力

を向上させ得ると言える。しかしながら、群間比較では、併用群に加えて非介入群においても、2週間後にコントロール群と比較して有意に低値を示していた。一方で、介入を用いている足底感覚群、視覚情報群はコントロール群との間に有意な差は認められなかった。これらの点についても上述の考察と同様に、介入を行った2つの群における二重課題によるCOP制御の難化と、非介入群の測定値のばらつき大きさによって説明可能であると考えられる。

本研究結果から、姿勢制御練習に靴インソールによる足底感覚入力の増強と視覚情報フィードバックによる膝部動揺の制御を併用することにより、姿勢

制御能力が向上する可能性が示唆された。本研究の課題として、統計学的な有意差は認められなかったが、練習前のCOP動揺に群間で差が生じていたことが挙げられる。対象者の元々の姿勢制御能力に群間で差が生じないように対象者のマッチングを行うべきであったと考える。本研究の限界として、対象者を健常若年成人としたことで、年齢による変化の有無を検討することが不可能であったことが挙げられる。加えて、健常若年成人と高齢者では結果が異なると推測されるため、高齢者を対象とした検証が今後の課題である。

謝 辞

本研究の実施及び分析にあたり、三豊総合病院リハビリテーション科理学療法士の西祐里氏にはひとかたならぬお世話になりました。心より感謝いたします。

文 献

- 1) 安村誠司, 安田誠史, 松田晋哉: 寝たきり老人ゼロ作戦の評価—課題は評価可能な調査項目の設定—. 公衆衛生情報, 29(4), 16-18, 1999.
- 2) 金成由美子, 安村誠司: 高齢者における転倒予防介入プログラムの有効性に関する文献的考察. 日本公衆衛生雑誌, 49(4), 287-304, 2002.
- 3) 石川康伸, 平井達也, 吉元勇輝, 若月勇輝, 薬科弘晃: 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(1), 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(2), 363-378, 2003.
- 6) 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(6), 821-825, 2009.
- 7) 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, 2003.
- 8) 小原謙一, 吉岡史晃: 靴インソールによる足底刺激部位の違いが足圧中心動揺に与える影響. 理学療法科学, 28(6), 801-804, 2013.
- 9) 大古場良太, 長谷川正哉, 吉塚久記, 本多裕一, 江越正次朗, 光武翼, 浅見豊子: 知覚入力型インソールの使用が歩行時の足部動態に及ぼす影響. 理学療法科学, 33(2), 343-346, 2018.
- 10) 廣田真由, 種谷菜晶, 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(2), 433-439, 2019.
- 11) 曾我部莉帆, 小原謙一, 大坂裕: 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. 川崎医療福祉学会誌, 30(2), 513-518, 2021.
- 12) 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(4), 247-254, 1999.
- 13) 峯松亮, 羽崎完: 高齢者に対する足底振動刺激がバランス機能に与える影響. 理学療法科学, 38(2), 128-129, 2011.
- 14) 藤田浩之, 中野英樹, 粕淵賢志, 森岡周: 後期高齢者の立位姿勢バランスに対する足底知覚トレーニングの介入効果. 理学療法科学, 27(2), 199-204, 2012.
- 15) 新井智之, 柴喜崇, 渡辺修一郎, 柴田博: 10m歩行における歩行周期変動と運動機能, 転倒との関連—小型加速度計を用いた測定—. 理学療法科学, 38(3), 165-172, 2011.
- 16) 水越鉄理, 渡辺行雄, 中川肇, 浅井正嗣, 大橋直樹, 將積日出夫: 高齢者の姿勢制御に占める視覚系性感覚系の

- 役割. 耳鼻と臨床, 39(5), 745-749, 1993.
- 17) 板谷厚, 木塚朝博: 不安定面上でのバランスエクササイズが姿勢制御における感覚依存性に及ぼす即時効果. コーチング学研究, 25(1), 33-42, 2011.
 - 18) 相馬俊雄, 久保雅義, 江原義弘: 不安定板上における杖を使用した立位姿勢制御. バイオメカニズム, 23(1), 21-30, 2016.
 - 19) 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(1), 5-11, 2016.
 - 20) 島浩人, 池添冬芽: 加齢による二重課題バランス能力低下と転倒及び認知機能との関連について. 理学療法科学, 24(6), 841-845, 2009.

(2021年4月26日受理)

Investigation of Effect of Standing Posture Control Exercise with Enhanced Plantar Sensory Input and Controlled Knee Sway with Visual Information Feedback

Mana UEKAWA, Kenichi KOBARA, Hiroshi OSAKA and Chiharu KUROZUMI

(Accepted Apr. 26, 2021)

Key words : posture control exercise, enhanced plantar sensory input, visual information feedback, knee sway

Abstract

Our purpose was to investigate the effect of a standing posture control exercise on standing posture control with the plantar sensory information and the controlled knee sway on the main support leg side with visual information feedback. Fifty-seven healthy young persons (20.5 ± 0.8 years) were recruited. As for the posture control exercise, the subjects continued to stand for one minute on a balance pad. The posture control exercise was performed three days a week for two weeks. The subjects were randomized to one of the five following groups: those who participated in the posture control exercise with enhanced plantar sensory input, those who participated in the posture control exercise with visual information feedback, those who participated in the posture control exercise with both interventions, those who participated in the posture control exercise with no interventions, and a control group who did not participate the posture control exercise. The rectangular area and the total trajectory length as the center of posture sway was measured before, one week after, and two weeks after the exercise using a force plate. The posture sway of the group with both interventions showed significantly lower values after two weeks when compared to before the exercise ($p < 0.05$). These results suggested the effectiveness of the posture control exercise with plantar sensory information and visual information for the knee position.

Correspondence to : Kenichi KOBARA

Department of Physical Therapist
Faculty of Rehabilitation
Kawasaki University of Medical Welfare
288 Matsushima, Kurashiki, 701-0193, Japan
E-mail : rptkob@mw.kawasaki-m.ac.jp

(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.31, No.1, 2021 129–137)