

高齢者におけるバランスパッドを用いた立位足底知覚トレーニングによる立位バランス機能改善効果の脳機能評価-近赤外分光による検討-

○松野 悟之¹⁾²⁾、吉池卓也³⁾、吉村篤³⁾、栗山健一³⁾

1)滋賀医科大学大学院医学研究科博士課程、2)大阪行岡医療大学医療学部理学療法学科、3)滋賀医科大学精神医学講座

[要約]

本研究の目的は、高齢者におけるバランスパッドを用いた立位足底知覚トレーニング効果に寄与する脳機能について、近赤外分光装置を用いて検討することである。対象は60歳以上の地域在住の男女13名と18歳から29歳以下の若年者4名とした。本研究では、対象者の足底知覚を促通するためにバランスパッドエリート(AIREX社製)を使用した。すべての対象者が、裸足でトレーニングを行う知覚促通条件と、靴下を履いて行う知覚遮断(対照)条件の2条件を実施した。安静立位保持と裸足または靴下を着用してバランスパッド上での立位足底知覚トレーニング課題を30秒ごとに交互に10回ずつ繰り返すブロックデザイン法を用いてトレーニングを実施した。その際、トレーニング介入中の対象者の大脳皮質の脳活動の時間的変化を計測するために近赤外分光装置(日立メディコ社製 ETG-4000)を使用した。トレーニング課題と安静立位保持を交互に繰り返し、安静立位時と比較したトレーニング課題施行時の脳活性化を検証するブロックデザイン法を用いて計測した。トレーニング介入前後に対象者の立位バランス機能を評価するために、重心動揺計を用いて身体動揺に関する各指標を検査した。その他の身体機能評価として、足底の二点識別覚、大腿四頭筋筋力、足趾把持力を評価した。統計解析は、対象者の介入前後の重心動揺計の各指標(開眼および閉眼)、二点識別覚、大腿四頭筋筋力、足趾把持力について、対応のあるt検定を用いて検討した。立位バランス機能の指標である重心動揺計の各パラメーターの介入前後の変化量とNIRSの各脳領域の酸素化ヘモグロビン濃度変化量について、Pearson相関係数を用いて検討した。

その結果、高齢者の二点識別覚および重心動揺計における開眼時の矩形面積、閉眼時の総軌跡長が介入前に比べて介入後に有意に減少した。トレーニング介入後の閉眼時における総軌跡長の減少と左頭頂連合野の活性化との間に高い負の相関が認められた。

本研究で実施したバランスパッドを用いた立位足底知覚トレーニング介入により、足底感覚に知覚を集中することで感覚入力が増大し、感覚情報が統合される頭頂連合野が活性化されたと考える。これらの結果から頭頂連合野の活性化がバランスパッドを用いた立位足底知覚トレーニング効果に寄与している可能性が示唆された。

[諸言(はじめに)]

高齢者が転倒・骨折に至る主たる要因として、立位バランス能力の加齢性低下が報告されており、科学的根拠に基づいた立位バランス能力低下予防法の開発は健康寿命の延伸、要介護者の増加防止に大きく貢献する。立位バランス能力の低下をもたらす要因として、筋力低下、関節可動域減少、反応時間の低下、前庭・視覚機能・体性感覚機能の低下の関与が指摘されている¹⁾。特に体性感覚機能が立位バランス機能を維持する上で重要であり、加齢に伴い体性感覚機能が低下することで、立位バランス保持のため視覚による代償の必要性が増加することが報告されている²⁾。少数例を対象とした研究ではあるが、足底に人為的に感覚刺激を加え、足底感覚機能を改善させるトレーニングを行うことで、立位バランス機能が有意に改善することがランダム化比較対照試験で示されている³⁾。近年、臨床現場でも転倒防止を目的とした立位足底知覚トレーニングが導入されつつある。立位足底知覚トレーニングとは、バランスパッドの上に乗れ、裸足で立位を保持する際に、足底でパッドの素材や感触を感じとることを意識して行わせるトレーニングである(図1)。先行研究では、立位足底知覚トレーニングの有効性を、重心動揺計による総軌跡長の減少やファンクショナルリーチテストスコアの向上により検証した報告³⁾がある。しかし、トレーニングの有効性は示唆されているものの、立位バランス機能の改善をもたらす神経学的背景は明らかになっていない。

近年、リハビリテーション領域において課題動作時の脳活動が評価可能な近赤外分光法(Near-infrared spectroscopy: NIRS)が用いられている。近赤外光は頭皮、頭蓋骨を透過し、脳組織内に到達・拡散する特性があるため、NIRSはこの特性を利用して脳活動に伴う脳血流の局所変化を検出する手法である。NIRSの特徴として、陽電子放射断層映像法(Positron Emission Tomography: PET)や機能的磁気共鳴映像法(functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI)などの計測機器に比べ、時間分解能が優れており、人体に無害である波長領域の光を用いているため非侵襲的で安全性が高い。また、体動によるアーチファクトの影響を比較的受けにくいため、立位姿勢でのバランス課題、トレッドミル上での歩行動作など頭部の移動を伴う行動時の脳活動変化を計測できる点でNIRSは他の脳機能イメージング法より多大なアドバンテージがある⁴⁾。すでにトレッドミル上での歩行動作時の脳活動⁵⁾⁶⁾や立位での外乱負荷刺激に対する立位バランス保持における脳活動⁷⁾⁸⁾など、体動を伴う動作時の脳活動測定における有用性が報告されている。しかし、リハビリテーションで用いられているバランスパッドを用いた立位足底知覚トレーニング施行時の脳活動についてNIRSを用い検証した報告はみられず、本検討課題が初めての試みとなる。我々は、視床等を介在する運動野と感覚野の協調により多感覚統合機能が強化されることが、立位バランス機能の改善・向上の高次機能変化であると推測している。近赤外分光法を用い、本仮説を検証することで、立位バランス保持機能改善の脳科学的生物指標を得られる可能性があり、さらに簡便かつ非侵襲的な臨床評価・効果予測法の開発に寄与する可能性がある。



図1 バランスパッドを用いた立位足底知覚トレーニング

左図:裸足でバランスパッド上に立位をとり足底でパッドの感触を意識的に知覚する課題を行う。

右図:本研究で使用する体性感覚入力促進を目的としたバランスパッド。

[方法目的]

本研究の主な目的は、バランスパッドを用いた立位足底知覚トレーニングによるバランス機能改善とトレーニング効果に寄与する脳活動領域について、近赤外分光法を用いて検討することである(図 1)。

[方法]

1. 対象

対象は地域在住の 60 歳以上の男女 13 名と 18 歳以上 29 歳以下の若年男性 4 名とした。

<リクルート>

募集方法は、地域在住の 60 歳以上の者および若年者に対して研究の目的や方法などを明示したポスターなどの資料を地域の社会福祉協議会や公民館、役場、学校等に掲示する方法で研究協力を募った。

<除外基準>

麻痺および感覚障害を有する者とした。麻痺と感覚障害の確認方法として、問診による麻痺および感覚障害の有無を聴取した。また、感覚障害の検査として対象者は閉眼および裸足の状態となり、検査者が対象者の足底を触れる刺激を与えて、刺激を感じることができたら口頭で「はい」と返答してもらうことで、感覚障害の有無を確認した。その他の除外基準として、認知機能検査である Mini Mental State Examination (MMSE) の得点が 21 点以下の者および研究担当者が不適当と判断した者とした。

2. 研究期間

本研究は、2017 年 11 月から 2018 年 1 月までの期間で実施した。

3. 方法

トレーニング介入中の脳活動評価およびトレーニング介入前後の身体機能評価の概要を図 2 に示す。

<対象者の属性の調査>

質問票を用いて対象者の年齢や身長、利き手、利き足、過去 1 年間における転倒回数の情報を収集した。対象者の体重、BMI、推定筋肉量を調査するために、体組成計(タニタ社製インナースキャン RD906)を用いて計測した。

<対象者の下肢筋力評価>

対象者の大腿四頭筋の筋力を計測するためにハンドヘルドダイナモメーター(アニマ社製 μ tas F-1)を使用した。大腿四頭筋の計測条件としては、対象者は椅子座位をとり、装置を下腿遠位部に装着した。

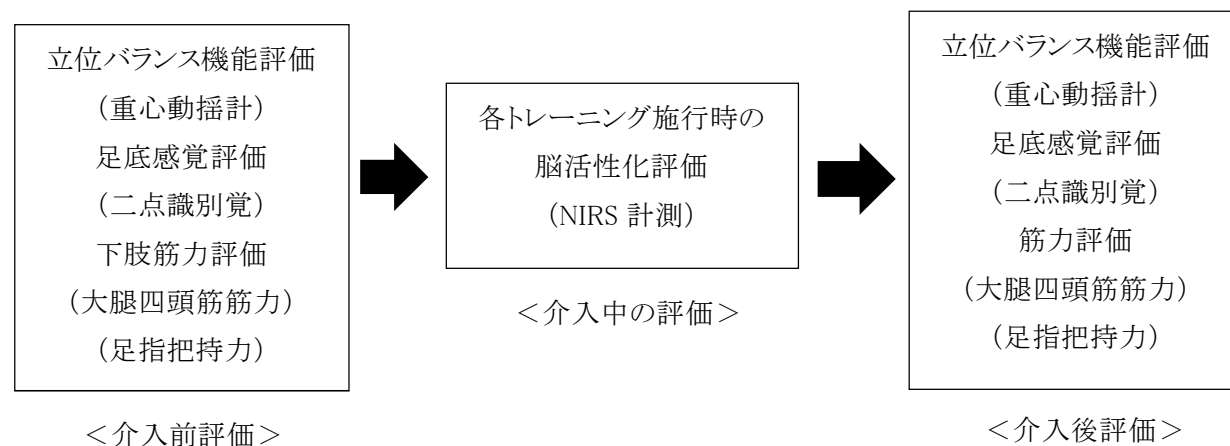


図 2 トレーニング前後の評価(トレーニング効果の検証)と介入中の脳活動評価の概要

大腿四頭筋の筋力値を算出するために、対象者の下腿長(膝関節裂隙から外果までの距離)をメジャーで測定した。大腿四頭筋の筋力は計測値(N)を下腿長(m)で乗じてから対象者の体重(kg)で除した。左右ともに2回計測し、平均値を採用した。

対象者の足趾把持力を計測するために、足趾筋力測定器(竹井工業社製、品番 T.K.K3364)を使用した。足趾把持力の計測条件としては、対象者は椅子座位をとり、裸足で実施した。足趾把持力は計測値(kg)を対象者の体重(kg)で除した。左右ともに2回計測し、平均値を採用した。

<対象者の立位バランス機能評価>

本研究では、対象者の立位バランス機能を計測するために、重心動揺計(ユニメック社製 UM-BAR II)を使用した。対象者は、裸足でセンサー上に立位をとり、計測時に上肢は体側に自然に垂らした状態とした。眼球の動きを抑制するために開眼条件での計測時は、前方に設置した固定点(目印)を注視してもらった。計測条件は、サンプリング周波数 150Hz、開眼条件と閉眼条件でそれぞれ 60 秒計測した。計測指標は総軌跡長、外周面積、単位面積軌跡長、矩形面積、開閉眼差(ロンベルグ率)とした。

<対象者の足底感覚機能評価>

本研究では、対象者の足底感覚機能を計測するために、デジタルノギス(AND 社製 AD-5765A-150)を使用して二点識別覚を検査した。左右の足底ともに母趾球と踵部の2カ所を計測し、それぞれ2回の平均値を採用値とした。

<立位足底知覚トレーニング方法>

本研究では、対象者の足底知覚を促通するためにバランスパッドエリート(AIREX 社製)を使用した(図1右)。すべての対象者が、裸足でトレーニングを行う知覚促通条件(図3左)と、靴下を履いて行う知覚遮断(対照)条件(図3右)の2条件を実施した。安静立位保持と裸足または靴下を着用してバランスパッド上での立位足底知覚トレーニング課題を30秒ごとに交互に10回ずつ繰り返すブロックデザイン法を用いてトレーニングを実施した(図4)。トレーニング課題を交互に繰り返し、安静時と比較したトレーニング課題施行時の脳活性化を検証するブロックデザイン法を用いて計測した。安静立位時のヘモグロビン濃度を基準として各課題中のヘモグロビン濃度変化を抽出し、さらに10回の各課題の加算平均を算出した(図4)。介入条件と安静条件の差分が、各介入条件の脳活動特性に相当する。トレーニングの施行時間や負荷量に関しては、藤田ら³⁾が実施した75歳以上の後期高齢者を対象に立位足底知覚トレーニングを実施した研究を参考にした。本研究においても藤田ら³⁾の研究と同等の負荷量で施行した。実施する最初の課題が2回目の課題に、学習効果の影響がでるのを避けるため、実施する課題の順番を割り付けした。割り付け方法は、乱数表を使用して課題の順番をランダムに割り付けした。

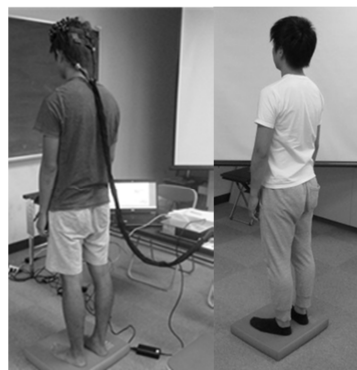


図3 2種類の立位足底知覚トレーニング課題

介入課題は裸足の状態でバランスパッドの感触を知覚しながら立位を保持する(左図)。対照課題は靴を着用することでバランスパッドの足底知覚要素を阻害する(右図)。

＜対象者のトレーニング中の脳活動評価＞

本研究では、対象者の大脳皮質の血流量の時間的変化を計測するために近赤外分光装置(日立メディコ社製 ETG-4000)(図1左)を使用した。身体に無害である近赤外光を用いて非侵襲的に血液中のヘモグロビンの相対的な濃度および濃度変化を計測できる特徴を有している。使用する近赤外光の波長領域は695nmと830nmの2波長であり、サンプリング周波数15Hzで計測した。対象者は、24チャンネルの専用のホルダを頭部に装着して計測した(図1左)。16本の送受光プローブを3cm間隔で配置した24チャンネルホルダを使用した。被験者間でプローブの配置部位を統一するために、脳波計測の際の電極配置法である国際10-20法に基づき、左右の外介前点を結んだ線と鼻根部と後頭結節を結んだ線の交点を基準点(Cz)と定め、プローブホルダの中央をCzに設置した。送光プローブと受光プローブ間の距離は3cmになるよう専用ホルダで固定した。転倒防止のためスタッフが被験者の近傍に並立し、バランスを崩した際にはすぐに介助できるよう、安全面に配慮した。課題施行中は前方に設置した固視点を注視させることで頭部が可能な限り動かないようにした。

＜脳活動計測指標＞

脳の賦活領域では、脳血流量の増加が酸素消費量の増加を上回るため、酸素化ヘモグロビンの増加と脱酸素化ヘモグロビンの減少が認められる⁹⁾。課題施行時の事象関連脳活動を検討するために、課題施行前と施行中の酸素消費量を、近赤外光を頭皮より照射し、光ファイバで集光した際の減光度の差をNIRSを用い計測する⁹⁾。近赤外線減光度の差は主に大脳皮質内の酸素化・脱酸素化ヘモグロビン濃度の変化を反映し、これらは脳血流量と相関しているため、局所脳活動量の指標となる⁹⁾。本研究では、酸素化ヘモグロビン濃度を脳活動の指標として用いた。

＜脳活動計測部位＞

図5に本研究で用いたプローブと各チャンネルの配置を示した。これまでの報告¹⁰⁾¹¹⁾を参照して、各チャンネルの計測領域を左右の補足運動野、左右の一次感覚運動野、左右の頭頂連合野の領域に分類した。

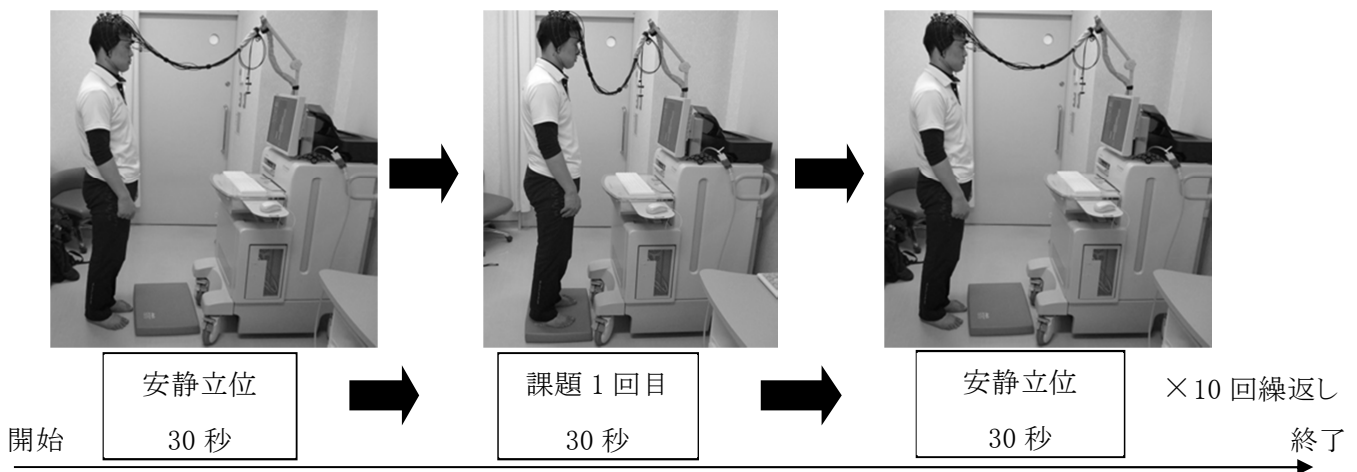


図4 各トレーニングの計測デザインであるブロックデザイン法

安静立位が比較対象となるベースラインであり、開眼での安静静止立位30秒と介入課題または対照課題30秒を交互に10回繰り返す。

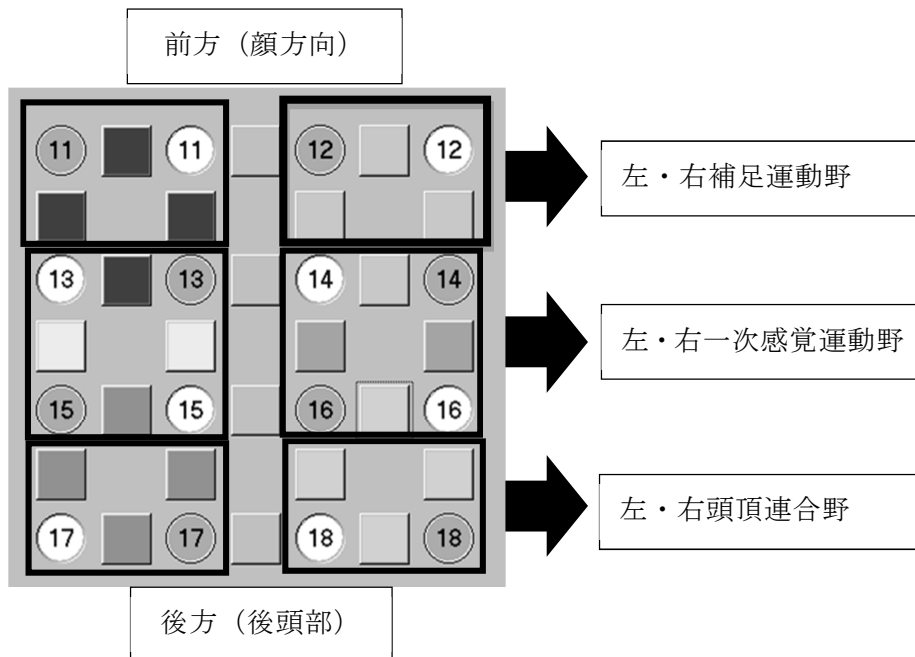


図 5 NIRS における脳活動計測関心領域 (ROI)

4. 統計・分析

統計解析はSPSS 22.0J for windowsを用いた. すべての統計学的有意水準は5%とした.

対象者の介入前後の重心動揺計の各指標(開眼および閉眼)、二点識別覚、大腿四頭筋筋力、足趾把持力は、対応のあるt検定を用いた. 立位バランス機能の指標である重心動揺計の各パラメーターの介入前後の変化量とNIRSの各脳領域の酸素化ヘモグロビン濃度変化量について、Pearson相関係数を用いた.

[倫理的配慮]

本研究は、滋賀医科大学倫理委員会の審査・承認を得て実施した。(整理番号 29-025). 本研究は人権やプライバシーの保護を徹底し、研究の内容・趣旨について文書により十分に説明し同意が得られた者に対し同意書に署名してもらった上で研究に参加してもらった. また、同意後も自らの意志で同意を撤回できることや撤回に対する不利益を被ることがないことを十分に説明した. 本研究では、バランストレーニング課題の際に、対象者の転倒リスクに対して研究者が対応することで対策を講じた. 対象者の人権保護の観点から、対象者の安全確保や痛みや気分不良の有無の聴取を徹底した. 個人情報保護の観点から本研究で得られた個人に関する情報や測定結果は本研究以外には使用しないことを徹底した.

[結果]

対象者の属性を表1に示した. トレーニング中におけるNIRSの各チャンネルデータは欠損がみられた. 特に若年者は毛髪の影響で欠損したチャンネルが多かったため、脳活動の解析は高齢者のみとなった. 対象者全体における立位バランス機能では、介入前に比べて、介入後に閉眼時の総軌跡長と矩形面積において有意な減少がみられた(表2). 高齢者のみを対象とした立位バランス機能では、介入前に比べて、介入後に開眼時の矩形面積、閉眼時の総軌跡長において有意な減少がみられた(表3). 高齢者の二点識別覚では、介入前に比べて、介入後に有意な減少がみられた(表5). 足趾把持力と大腿四頭筋筋力では、介入前後での有意な差はなかった(表5). 介入後の閉眼時における総軌跡長の減少と左頭頂連合野の活性化との間に高い負の相関が認められた(表7、図6).

表 1 対象者の属性(n=17)

	全体(n=17)	高齢者群(n=13)	若年者群(n=4)
年齢(歳)	57.5±21.5(19-76)	68.9±9.0(63-76)	20.5±1(19-21)
性別 男/女	9/8	5/8	4/0
身長(cm)	163.4±10.9(144-178)	160.6±11.9(144-178)	172.5±7.3(162-178)
体重(kg)	60.7±12.0(43.3-92.2)	58.8±9.8(43.3-76.2)	68.2±16.5(56.2-92.2)
BMI	22.8±3.03(18.8-29.1)	22.7±2.8(18.8-27.6)	22.8±4.3(19.8-29.1)
MMSE(点)	29.2±1.4(26-30)	29±1.6(26-30)	30±0(30-30)
推定筋肉量(kg)	42.9±9.3(28.55-62.25)	40.0±8.0(28.6-55.0)	52.1±7.48(44.25-66.25)
転倒回数(過去1年間)	0.06±0.24(0-1)	0.1±0.3(0-1)	0±0(0-0)

平均値±標準偏差(最小-最大)

表 2 対象者全体における介入前後の立位バランス機能評価(n=17)

項目	介入前	介入後	P 値
総軌跡長(開眼)	780.64±234.67	725.865±190.336	0.217
単位面積軌跡長(開眼)	2.557±0.96	2.875±1.101	0.101
矩形面積(開眼)	1124.271±641.624	904.582±561.105	0.094
外周面積(開眼)	359.188±190.926	305.788±178.326	0.087
総軌跡長(閉眼)	1068.076±403.882	932.877±279.015	0.022
単位面積軌跡長(閉眼)	2.904±1.035	2.945±1.239	0.663
矩形面積(閉眼)	1303.694±648.288	1150.529±608.675	0.038
外周面積(閉眼)	425.088±246.906	385.682±208.349	0.136
※ロンベルグ率	1.348±0.763	1.404±0.512	0.797

※外周面積における閉眼/開眼の比率を示す。平均値±標準偏差

表 3 高齢者における介入前後の立位バランス機能評価(n=13)

項目	介入前	介入後	P 値
総軌跡長(開眼)	845.338±219.688	756.285±191.922	0.115
単位面積軌跡長(開眼)	2.533±0.77	2.993±1.105	0.176
矩形面積(開眼)	1183.838±639.793	876.215±492.639	0.024
外周面積(開眼)	370.708±177.548	296.308±151.602	0.082
総軌跡長(閉眼)	1146.554±421.942	986.515±283.968	0.028
単位面積軌跡長(閉眼)	2.951±1.076	3.118±1.206	0.399
矩形面積(閉眼)	1393.731±693.772	1157.277±645.960	0.085
外周面積(閉眼)	457.508±269.816	378.185±210.413	0.083
※ロンベルグ率	1.316±0.757	1.42±0.522	0.675

※外周面積における閉眼/開眼の比率を示す。平均値±標準偏差

表 4 若年者における介入前後の立位バランス機能評価 (n=4)

項目	介入前		介入後	
	開眼	閉眼	開眼	閉眼
総軌跡長	570.35±153.41	813.03±210.75	627.00±169.81	758.55±199.14
単位面積軌跡長	2.63±1.58	2.75±1.02	2.49±1.15	2.38±1.35
矩形面積	930.68±702.1	1011.08±408.54	996.78±832.79	1128.60±553.20
外周面積	321.75±256.66	319.73±120.73	336.60±275.70	410.05±231.05
ロンベルグ率	1.45±0.89		1.35±0.55	

平均値±標準偏差

表 5 高齢者における介入前後の足底二点識別覚と下肢筋力 (n=13)

項目	介入前	介入後	P 値
利き足母指球 (mm)	18.3±6.7	12.1±6.2	0.000
利き足踵部 (mm)	22.1±6.9	14.7±5.9	0.000
非利き足母指球 (mm)	18.1±5.9	12.9±5.5	0.000
非利き足踵部 (mm)	23.3±7.3	15±6.6	0.000
利き足の大腿四頭筋筋力 (Nm/kg)	1.47±0.44	1.5±0.38	0.233
非利き足の大腿四頭筋筋力 (Nm/kg)	1.36±0.38	1.37±0.35	0.508
利き足の足趾把持力 (体重比 kg/kg)	0.3±0.09	0.32±0.09	0.059
非利き足の足趾把持力 (体重比 kg/kg)	0.3±0.1	0.31±0.09	0.268

平均値±標準偏差

表 6 若年者における介入前後の足底二点識別覚と下肢筋力 (n=4)

項目	介入前	介入後
利き足母指球 (mm)	9.8±1	7.8±1.6
利き足踵部 (mm)	10.3±2.7	7.6±2.4
非利き足母指球 (mm)	11±2.9	6.9±3
非利き足踵部 (mm)	10.8±2.5	6.8±3.6
利き足の大腿四頭筋筋力 (Nm/kg)	2.07±0.59	2.07±0.52
非利き足の大腿四頭筋筋力 (Nm/kg)	1.84±0.48	1.87±0.52
利き足の足趾把持力 (体重比 kg/kg)	0.4±0.08	0.42±0.08
非利き足の足趾把持力 (体重比 kg/kg)	0.38±0.1	0.44±0.1

平均値±標準偏差

表 7 高齢者における対照課題時の脳活性化と介入後の身体動揺の相関(n=13)

項目	介入後の閉眼時総軌跡長の減少	P 値
対照課題時の左頭頂連合野活性化	-0.829	0.000

Pearson 相関係数

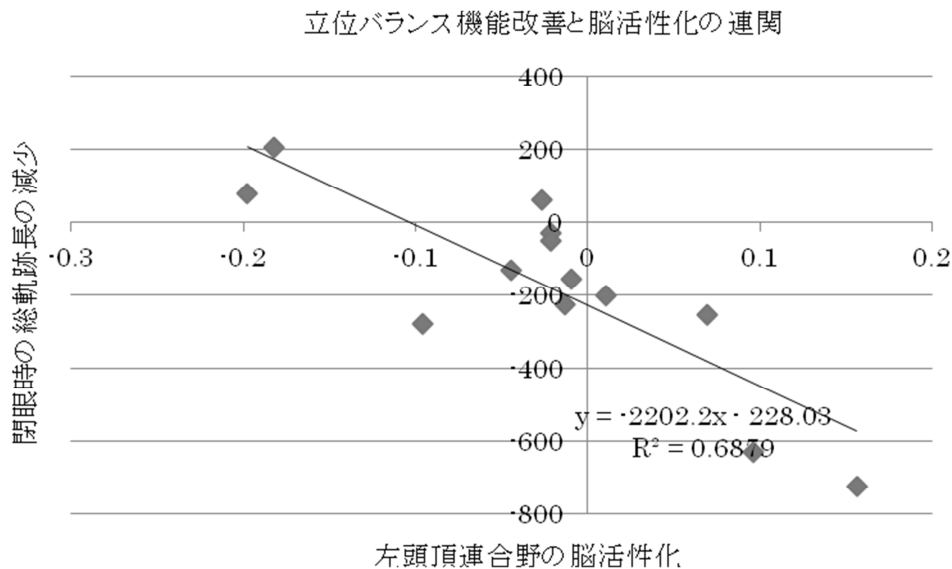


図 6 介入後の立位バランス機能改善(閉眼時の総軌跡長減少)とトレーニング中の脳活性化の関連
対照課題である靴下を着用してのトレーニング中における左頭頂連合野の活性化とトレーニング介入後の閉眼時の総軌跡長の減少(立位バランス機能改善)と高い相関関係がみられた。

[考察]

ヒトの立位姿勢制御における入力系は、視覚・前庭迷路・体性感覚に大別される。高齢者では、加齢に伴い筋力や視力の他に体性感覚機能が低下する。ヒトが立位姿勢を保持する際、地面と接しているのは足底だけである。このことから足底感覚機能が立位姿勢制御に重要な役割を果たしていると考えられる。したがって、足底の体性感覚機能を促通し、立位バランス機能を高めることは重要だと考えられる。本研究では、バランスパッドを用いた立位足底知覚トレーニング介入を実施し、トレーニング効果の指標となる重心動揺計の各指標や体性感覚機能の指標となる足底の二点識別覚でトレーニング効果を検証するとともに、立位バランス機能に影響をもたらす可能性があるトレーニング中の脳活動を検討した。その結果、トレーニング介入によって、二点識別覚が有意に低下したことから、柔らかい素材であるバランスパッド上で足底の感覚を知覚することで固有受容器が賦活されたと考える。

大脳皮質には多くの一次感覚野があり、視覚、聴覚、体性感覚、平衡感覚などの多種類の感覚情報をそれぞれの領域で処理し、それらの一次感覚野の情報を統合するのが頭頂連合野である。皮膚の感覚や圧覚、関節や筋の動きの感覚である体性感覚は、大脳皮質の3野および1野と2野で処理されるが、そこから頭頂葉の5野へ情報が送られる。頭頂葉の5野では、どのような形状と性質の物体が身体のどこに触っているかという情報だけではなく、手足の位置や動き、体幹の位置などの情報が加わり、身体姿勢と接触する物性情報が統合処理される。次にその情報は7野へ送られ、視覚情報が加わることで身体と外界の相互関係が認識され、さ

らにそれらの、情報は下頭頂小葉へ送られ総合的な認知情報となる。本研究では、足底接地面が柔らかく不安定なバランスパッド上で立位姿勢を保持することで、通常の床面での立位保持と比較して、身体動揺を抑制し直立姿勢を維持する必要がある。そのため、足底からの感覚入力から筋出力に至る情報処理能力を高めたことで、頭頂連合野の脳活性化がみられたと考える。したがって、立位足底知覚トレーニングにより、足底感覚に知覚を集中することで感覚入力が増大し、感覚情報が統合される頭頂連合野が活性化されたと考える。これらの足底機能の改善、頭頂連合野の脳活性化の影響により、トレーニング介入後では立位バランス機能の指標である重心動揺計における開眼時の矩形面積および閉眼時の総軌跡長が有意に減少したと考える。

Bohannonら¹²⁾は、高齢者の立位姿勢制御は加齢の影響により視覚への依存が大きくなることを指摘している。これらの加齢性変化を踏まえると、高齢者の場合、筋力増強トレーニングだけでなく、体性感覚機能を高めるトレーニングを行うことの有用性も示唆される。本研究の課題として、対象者の毛髪の影響により近赤外光の透過が阻害され、NIRSデータの欠損が生じたことと対象者数が少ないことが挙げられる。今後も、プローブ装着時に毛髪を避ける工夫が必要だと考える。また、今回の研究期間では対象者が少ないため、今後も研究を継続し対象者を増やして検証していく必要があると考える。

[結論]

本研究で実施したバランスパッドを用いた立位足底知覚トレーニング介入により高齢者の足底の体性感覚機能である二点識別覚が有意に改善し、重心動揺計における開眼時の矩形面積および閉眼時の総軌跡長が有意に減少した。立位足底知覚トレーニングにより、足底感覚に知覚を集中することで感覚入力が増大し、感覚情報が統合される頭頂連合野が活性化されたと考える。これらの結果から頭頂連合野の活性化がバランスパッドを用いた立位足底知覚トレーニング効果に寄与している可能性が示唆された。

[謝辞]

本研究を実施するにあたり、貴重な時間を割いて参加して頂いた研究協力者の皆様方に、厚く御礼申し上げます。また研究指導に多大なお時間を頂いた研究責任者の栗山健一先生、共同研究者である吉池卓也先生、吉村篤先生にも厚く御礼申し上げます。

[引用・参考文献]

- 1) Spirduso WW, Francis K, Eakin T, Stanford C: Sensory re-weighting in human postural control during moving-scene perturbations. *Exp Brain Res* 167: 260-267, 2005.
- 2) Pyykko I, Jantti P, Aalto H: Postural control in elderly subjects. *Age ageing* 19(3): 215-221, 1989.
- 3) 藤田浩之, 中野英樹, 粕渕賢志, 森岡周: 後期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-施設入所後期者における無作為化比較試験による検討-. *理学療法科学*, 27(2):199-204, 2012.
- 4) 松野悟之, 藤田信子: 近赤外分光法の研究動向. *大阪行岡医療大学紀要*, 第4巻, 35-41, 2017.
- 5) Miyai I, Tanabe HC, Sase I, Eda H, Oda I, Konishi I, Tsunazawa Y, Suzuki T, Yanagida T, Kubota K : Cortical mapping of gait in humans: a near-infrared spectroscopic topography study. *NeuroImage* 14(5):1186-1192, 2001
- 6) Miyai I, Yagura H, Oda I, Konishi I, Eda H, Suzuki T, Kubota K : Premotor cortex is involved in restoration of gait in stroke. *Ann Neurol* 52(2):188-194,2002.
- 7) Mihara M, Miyai I, Hatakenaka M, Kubota K, Sakoda S : Role of the prefrontal cortex in human balance control. *Neuroimage* 43(2):329-336, 2008.
- 8) Fujimoto H, Mihara M, Hattori N, Hatakenaka M, Kawano T, Yagura H, Miyai I, Mochizuki H : Cortical

changes underlying balance recovery in patients with hemiplegic stroke. *Neuroimage* 85:547-554,2014.

9) Hoshi Y, Tamura M : Detection of dynamic changes in cerebral oxygenation coupled to neuronal function during mental work in man. *Neuroscience letter* 150(1):5-8, 1993.

10) Okamoto M, Dan I, et al: Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10-20 system oriented for transcranial functional brain mapping. *Neuroimage* 21:99-111,2004.

11) 湯川喜裕, 富永孝紀, 森岡周, 他: 脳卒中片麻痺患者における振動誘発運動感覚錯覚中の脳活動～機能的近赤外分光装置 (fNIRS) 研究～. *作業療法*, 31:41-51, 2012.

12) Bohannon RW, Larkin PA, Cook AC, et al : Decrease in timed balance test scores with aging. *Phys Ther* 1984, 64: 1067-1070.