

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 12 日現在

機関番号：33938
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23700674
 研究課題名（和文） 全身振動刺激を用いた運動介入が転倒予防時の踏み出し動作に与える効果の検証
 研究課題名（英文） Effects of intervention using the whole body vibration training on functional abilities of fall prevention step
 研究代表者
 越智 亮（OCHI AKIRA）
 星城大学・リハビリテーション学部・講師
 研究者番号：60410891

研究成果の概要（和文）：本研究では、高齢女性に対する全身振動刺激（以下、WBV）を用いた運動介入が、転倒回避に必要となる素早い前方ステップ動作の運動機能を改善させるかどうかを検証した。対象者 20 名のうち、3 か月間の WBV 介入を行った 10 名のみ、トレーニング後に前方への踏み出し動作速度が向上した。また下肢の表面筋電図から得られた結果から、踏み出し直前の足関節の蹴り出し動作の瞬発力が改善していることが示された。高齢女性の転倒回避動作能力の向上に WBV 介入が有効であることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：This study was to ascertain whether exercise intervention using the whole body vibration (WBV) improved forward stepping which is necessary for fall prevention in the older women. The tether-release method was used to evaluation of fall prevention step. A three month training program of WBV muscle strength and balance exercises improved the stepping speed in the 10 subjects of the training group. The result for the electromyography in the lead leg during the forward step movement showed that the training improved the explosive power in the foot push-off just after the tether-release. This study revealed that exercise intervention using the WBV was effective for fall prevention in the older women.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,600,000 円	480,000 円	2,080,000 円

研究分野：健康科学

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：高齢者、転倒予防、全身振動刺激、転倒回避、トレーニング、筋活動、筋電図

1. 研究開始当初の背景

我々は、多くの場合つまずきが生じた後、下肢を大きく踏み出すことによって転倒を回避することが可能である。しかし、高齢者では、ふらついた、あるいはつまずいた後に実際の転倒へと発展してしまうケースが多い。この原因として、高齢者と若年者との間にはつまずきから足を一步前に踏み出して転倒を防止するまでの反応の違いがあげられる。転倒防止のため前方への素早いステッ

プ動作を行う際、高齢者では、踏み出し脚の速度の減少、踏み出し距離（一步の長さ）の減少、一回の踏み出しで体重を支えきれず、その後に複数回のステップが生じてしまう、などの特徴がある [Hsiao-Wexler ET: J Electromyogr Kinesiol 18, 179-87, 2008]。高齢者にみられるこれらのステップ動作の特徴は、転倒を回避しようとする動作であるのに、結果的に不安定性につながり、転倒に発展し易くさせる要因となっている。バランス回復において複数回ステップをとる傾向

は、将来的な転倒の前兆となる [Maki BE, et al.: Control of Posture and Gait, Maastricht, Netherlands, pp126-9, 2001].

加齢に伴う複数回のステップ反応の運動学的な原因は、ステップ距離（一步長）の減少、ステップ速度の減少にある [Maki BE, et al.: Age Aging 35, 12-8, 2006]. つまずきの後、下肢を踏み出す速度が減少し、踏み出し距離が少なければ、前方への身体重心の加速を止めきれず、その後に第二、第三のステップ反応が生じることになる。また、加齢による足底固有感覚の感度の減衰と複数回ステップ発生の関連についても明らかにされている。高齢者を対象とした研究で、靴ソールを使用した足底感覚の促進が、外乱に対する転倒予防時の複数回のステップ反応の頻度を減少させるという報告がある [Maki BE, et al. J Gerontol 54A, 281-7, 1999]. それとは逆に、若年者を対象とした研究で、足底感覚を麻酔で減衰させると、複数のステップ反応の頻度を増大させるという報告がある [Perry SD, et al. Brain Res 877, 401-6, 2000]. 転倒リスクを増大させる複数回ステップ動作の発生を防ぐために、上述の運動学的な特徴を改善することは、高齢者の転倒回避動作能力の向上に重要であると考えられる。

ステップによるバランス回復には、適切な時間的要素に関節モーメントを作るための、効果的な神経筋の協調性が必要とされる。Thelenらは、転倒回避ステップ中の筋活動パターンが若年者と高齢者でほとんどの筋活動パターンが似通っている間、高齢者のステップ脚の大腿筋において、わずかだが筋活動の開始の遅れとより長い筋活動の持続を持ち、さらに主動筋と拮抗筋の同時活動が高いことを報告した [Thelen DG, et al. J Electromyogr Kinesiol 10, 93-101, 2000]. このように、素早く骨格筋を起動させる能力は老化によって減少する。筋活動パターンの年齢関連の違いがThelenらの報告によって明らかにされたが、転倒リスクとの関係については不明である。そのため、健常高齢者と比較して、転倒リスクを持つ高齢者に特徴的な転倒回避ステップの筋活動パターンを明らかにした上で、効果的な運動介入を考える必要がある。

近年、筋力増強やバランストレーニングとして着目されている全身振動刺激トレーニング (Whole-body vibration training; 以下, WBV) は、下肢筋力増強効果の促進や、筋収縮速度の改善に効果があるとされている [Mikhael M, et al.: BMC geriatrics 10, 74, 2010]. また、足底の固有感覚を刺激することで、バランス能力の向上が期待される。高齢者に特有の複数回のステップが、ステップ速度の減少や、足底の固有感覚の減衰と関連

しているとすれば、WBVを用いた運動介入が高齢者の転倒回避動作能力の向上に有効であると考えた。

2. 研究の目的

(1) 実験 I.

転倒リスクを持つ高齢者とそれを持たない高齢者の転倒回避ステップの動作速度や下肢筋活動パターンの違いを明らかにし、転倒が発生しやすいステップ動作の要因を検討すること。

(2) 実験 II.

高齢者に対する WBV トレーニングは、転倒回避ステップの能力を向上させる効果があるかどうか明らかにすること。

3. 研究の方法

実験 I.

転倒リスクを持つ高齢者とそれを持たない高齢者の転倒回避ステップ動作の筋活動パターンの比較

(1) 対象者

ケアハウスに居住する 76 歳以上の高齢者 29 名が研究に参加した。対象者は全て歩行動作が自立している者であった。重篤な中枢神経、運動器、心血管疾患を持つ者は除外した。さらに下肢の踏み出しや課題遂行に影響を与える関節可動域制限、極度の円背、体幹や下肢の疼痛を持つ者、高度の認知症を持つ者は除外した。全ての対象者から本研究プロトコルに基づくインフォームドコンセントは得られた。本研究は星城大学倫理委員会の承認を得て行われた。

研究開始前の 12 カ月間の対象者個人の自己申告に基づき、対象者は転倒群 (n= 12, 年齢 82.8±4.5 歳, 身長 149.1±6.5cm, 体重 53.1±7.4kg) と対照群 (n= 17, 年齢 81.4±3.4 歳, 身長 150.4±7.0cm, 52.4±10.7kg) に分けられた。

(2) 転倒回避ステップ動作の誘発

筋電図計測の対象筋は、踏み出し脚の大腿直筋 (以下, RF), 外側広筋 (以下, VL), 大腿二頭筋 (BF), 前脛骨筋 (以下, TA), 腓腹筋外側頭 (以下, GC) とした。筋活動 (以下, EMG) は、表面筋電計を用い、双極誘導法で導出した。

転倒防止時ステップ動作の誘発は、Tether-release 法を用いた (図 1)。被験者はフルハーネス安全帯を装着し、被験者の腰部背面に長さ 2m, 幅 47mm の車載用シートベルト (以下, 牽引ケーブル), および胸部背面に転倒防止用の衝撃吸収機構付ランヤードを取り

付けた。転倒防止用のランヤードは実験施設の天井に固定された支柱に取り付けた。ハーネスの腰部背面の固定用金具と牽引ケーブルとの間にロードセルを介在させた。牽引ケーブルの離脱スイッチは、車載用シートベルトのバックルで、被験者の2m後方の壁に固定された手すりに設置した。ステップ時の踵離地および接地時のタイミング導出のため、踏み出し脚の足底踵部にフットスイッチを装着した。踏み出し脚のステップ長を計測するために、被験者の足元の床面に1mの基準となるマーカーを設置し、さらに被験者の側方3mの位置にビデオカメラを設置した。被験者の側方に検査者が1名待機することで被験者の安全は保障された。

まず牽引ケーブルで背部を牽引した状態で身体を前傾させた。被験者に対し、牽引が解き放たれた瞬間にあらかじめ設定された踏み出し脚を速やかに一步前に踏み出し、なるべく一步で踏みとどまるよう指示した。全ての転倒群がシングルステップで回復できたケーブル牽引力は15%BWであった。そのため、本研究のバランス回復データは転倒群と対照群ともに15%BWの牽引力から収集した。

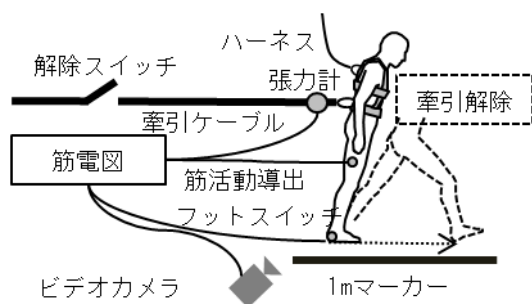


図1. 転倒回避ステップ誘発のシェーマ図

(3) ステップ動作の運動学的データ分析

ステップ動作時の時空間パラメータは、筋電図、ロードセル、フットスイッチ、およびビデオ画像から導出した。牽引解除から踏み出し脚の踵離地までの時間を反応時間 (ms) とした。踏み出し脚の踵離地から再び同側下肢の踵が接地するまでの時間をステップ時間 (ms) とした。筋電図と同期されたビデオ画像から、床面に設置された基準マーカーを基にステップ長を導出した。ステップ時間とステップ長から、ステップ速度を算出した。

ステップ動作に対するEMG反応は、筋活動の反応時間、動作中の最大活動に達するまでの時間、筋活動パターン、主動筋と拮抗筋の同時活動量などで評価した [Falconer K, et al. Electromyogr Clin Neurophysiol 25, 579-84, 1985].

実験II.

WBVトレーニングが高齢女性の転倒回避ステップ能力に与える効果

(1) 対象者

2つのケアハウスに在住する75歳以上の女性高齢者20名が研究に参加した。参加者は全て歩行が自立している者とした。除外基準は『実験I』と同様である。本研究は星城大学倫理委員会の承認を受け、対象者全てから書面による同意を得て行われた。

後述のホームプログラムのトレーニング内容に基づき、被験者はランダムに10名ずつ、振動刺激を併用した運動介入群 (以下、WBV群; whole body vibration exercise, 年齢 81.3 ± 3.2 歳, 身長 151.5 ± 3.8 cm, 体重 57.4 ± 6.7 kg) と、振動刺激を用いず標準の運動介入を行う群 (以下、STE群; standard exercise, 年齢 80.8 ± 3.8 歳, 身長 149.5 ± 2.1 cm, 体重 54.9 ± 5.3 kg) とした。

(2) 運動介入内容

運動介入は、各被験者の入居施設でホームプログラムとして実施された。WBV群、STE群の両群とも1日約35分間、週3日、3か月間、計36回のトレーニングを実施した。トレーニング実施は施設スタッフの監視のもと行われ、被験者はトレーニング後に実施日と運動時間を記録簿に記載した。また、両群に対し、日常生活で行われる運動習慣 (散歩など) に制限を設けなかった。

WBV群は、振動刺激トレーニング装置 (G-900, Novotec Medical 社製) を使用した。被験者は、振動板上に立ち、前方の手すりを把持した。振動板上でハーフスクワット、踵挙上、つま先挙上、体幹左右回旋の順でそれぞれ10回ずつを1サイクルとし、3分間以内で最低3サイクル繰り返して行った。運動強度の設定は、振動刺激周波数を10Hzから開始し、1週につき1Hzずつ、最大24Hzまで増大させた。さらに、振動刺激運動の後、休息をとった後、通常の床上で被験者は、ステップエクササイズとバランスエクササイズを約30分間行った。ステップエクササイズの内容は以下の通りであった; 1) 両下肢の前後左右の最大ステップ、2) フロントランジ (体幹を垂直にしたまま下肢を一步前に出し、膝を直角またはそれ以下の角度まで屈曲させる)、3) ビーム歩行。バランスエクササイズは、下肢のステップを行わない動作で、以下の通りであった; 1) 前後左右重心移動練習、2) 前方最大リーチ、3) 片脚立位。

STE群は、上記WBV群のトレーニングと同じ内容の運動を振動刺激トレーニング装置なしで、同じ時間行った。すなわち、STE群は、WBV群で行う振動刺激板上の3分間の運動を、通常の床上で行った。

(3) 身体機能評価

両群とも3か月間の介入前後に、歩行速度、3m Timed up and go test (以下、TUG)、Ten step test (以下、TST)、Functional reach test (以下、FRT)、膝伸筋機能評価としてハンドヘルドダイナモメーターを用い、最大筋力、筋力発揮率(瞬発力)を計測した。さらに、足底の踵部、母趾球部、母趾の3か所から感覚検査用コンパスを使用して二点識別間距離を計測した。

(4) 転倒回避ステップの評価とデータ分析

転倒回避前方ステップ動作の評価は、『実験Ⅰ』と同様の Tether-release 法を用いた。ケーブル牽引量は15%とした。筋電図記録において、介入前、被験者毎に EMG 導出用の電極を貼付した後、各関節のランドマークを基準に電極貼付位置の角度と長さの記録を行った。同方法により、介入後の EMG 電極貼付において、同一部位への電極貼付を可能とした。全てのデータについて両群とも介入前後の値を比較した。

4. 研究成果

実験Ⅰ.

転倒リスクを持つ高齢者とそれを持たない高齢者の転倒回避ステップ動作の筋活動パターンの比較

ステップ長、ステップ速度は転倒群が対照群よりも有意に減少していたことから、転倒群は対照群と比べ、低下したパフォーマンスを持っていた。また、ステップ中の転倒群と対照群の筋活動パターンの違いは RF, BF に認められた(図2)。このような転倒群と対照群の筋活動パターンの違いは、転倒リスクにつながるステップ能力の機能低下を反映しているものと考えられた。さらに、詳細な EMG 分析の結果、転倒群はステップ直前の足関節底屈による蹴り出しの瞬発力が低下していることが示された。また、転倒群は対照群よりも大腿の同時活動量が大きく、ステップの踏み出しが円滑に行われていないことが示唆された。

これまでに、本研究のような疑似的な転倒回避ステップにおける下肢筋活動パターンの詳細な分析は、国内外の報告を含め、若年者と高齢者の比較がされているのみである。本研究結果は、転倒回避ステップにおける詳細な筋活動分析から、転倒リスクを持つ女性高齢者のステップ機能が低下する理由を明らかにすることができた。この研究結果から、転倒回避ステップの機能向上のために、下肢筋を素早く発揮させる能力を向上させることに着目し、実験Ⅱに取り組んだ。

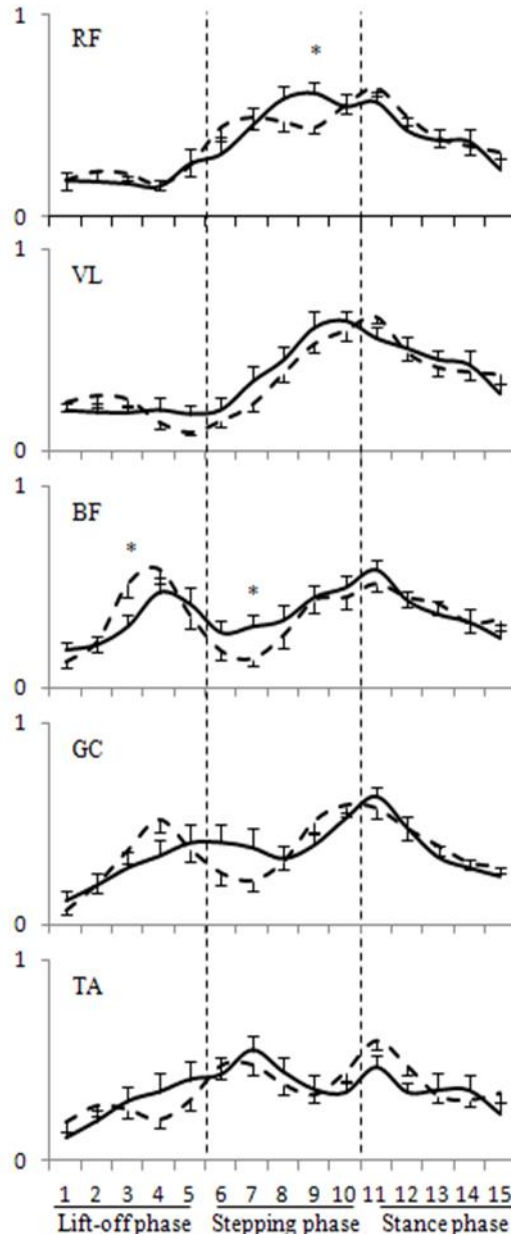


図2. 転倒群と対照群の転倒回避ステップ動作の筋活動パターン。

筋電図の加算平均処理波形で、実線は転倒群、破線は対照群を示す。筋活動量は、ステップ動作中の最大活動量で除し、正規化を行った。* は転倒群と対照群において有意差 ($p < 0.05$) が認められた点を示す。転倒群の大腿の筋活動 (RF と BF) において、筋活動開始の遅延や活動停止の遅れがあることが特徴的である。また、EMG の時間的分析を行った結果、足関節底屈筋 (GC) の活動において、素早く力を発揮する能力が転倒群で低下していた。

実験Ⅱ.

WBV トレーニングが高齢女性の転倒回避ステップ能力に与える効果

3 か月間の介入によって、WBV 群、STE 群ともに 10m 歩行速度、TST の成績が向上した。TUG は WBV 群のみ介入後に成績が向上した。膝伸展筋力や瞬発力も両群とも有意に向上していた (表 1)。本研究の対象者は、国内外の転倒予防運動介入を行った過去の報告の対象者よりも比較的、高齢である。一般的なバランスエクササイズで 3 か月間のホームプログラムによって 75 歳以上の高齢女性でも運動機能が向上することを示すことができた。

表 1. 運動機能評価結果 (平均±標準偏差)

		WBV群	STE群
歩行速度 (m/秒)	介入前	1.39 ± 0.16	1.44 ± 0.24
	介入後	1.48 ± 0.22	1.45 ± 0.19
TUG (秒)	介入前	8.57 ± 1.95	8.52 ± 1.89
	介入後	7.73 ± 1.64	8.41 ± 1.85
TST (秒)	介入前	7.88 ± 1.78	7.65 ± 1.81
	介入後	7.29 ± 1.41	7.50 ± 1.55
FRT (mm)	介入前	282 ± 43	276 ± 48
	介入後	288 ± 35	285 ± 39
足底感覚 (mm)	介入前	18 ± 7	21 ± 8
	介入後	15 ± 5	22 ± 9

足底感覚は 3 箇所からの 2 点識別覚の平均値を示した。全て 2 元配置分散分析を用い検定を行った。TUG のみ交互作用が有意 ($p < 0.05$) で、事後検定の結果、WBV 群のみ介入後に有意な成績の改善が認められた。

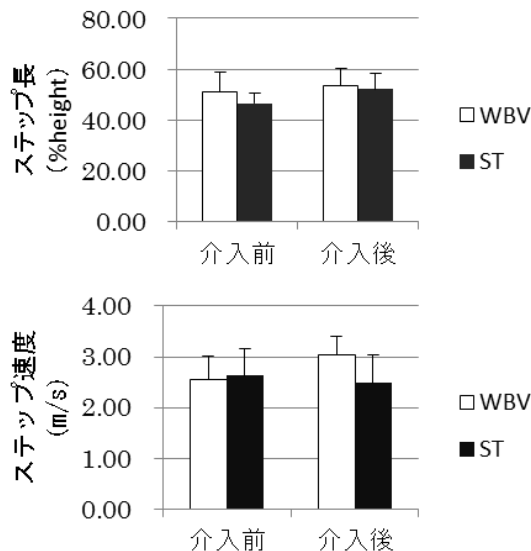


図 3. 転倒回避ステップのステップ長とステップ速度の介入前後の変化
ステップ長は期間の主効果 ($p < 0.01$) を認め、介入後に WBV 群、STE 群ともに有意にステップ長が増大した。ステップ速度は期間と群の交互作用が認められ ($p < 0.05$)、事後検定の結果、WBV のみステップ速度の有意な向上が認められた。

介入前後のステップの運動学的パラメータの分析の結果、WBV 群、STE 群ともにステップ長の改善がみられた。ステップ速度は STE 群に変化を認めなかったのに対し、WBV 群では有意に向上していた (図 3)。さらに、WBV 群の介入前後の筋活動分析から、介入後に、ステップ踏み出し直前の GC 活動の立ち上がりが急峻になっていることを認めた (図 4)。このことは、足関節底屈による蹴り出しの瞬発力が介入後に増大したことを意味し、WBV 群のみステップ速度が向上したと関連していることが明らかになった。

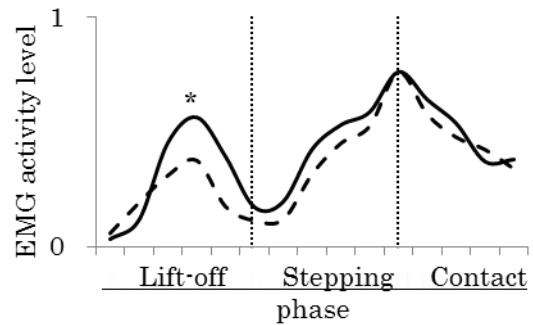


図 4. WBV 群の介入前後の転倒回避ステップ動作中の GC 活動パターン。

WBV 群の筋電図の加算平均処理波形で、破線は介入前、実線は介入後の筋活動パターンを示す。筋活動量は、ステップ動作中の最大活動量で除し、正規化を行った。* は介入期間の前後において有意差 ($p < 0.05$) が認められた点を示す。介入後に踏み出し直前の活動が急峻になっている。

今回の介入で用いた全身振動刺激は、足底板が振動することで、下肢筋に刺激を与える。特にこの作用は、股関節や膝関節周囲の筋よりも、足関節周囲の筋に強く働き掛けることが分かっている [Rees SS, et al. Phys Ther 88, 462-70, 2008]。本研究で WBV 群の介入期間後にみられたステップ速度の向上は、振動刺激が腓腹筋の筋収縮特性を変化させ、ステップ直前の足関節底屈の素早い力発揮を可能にしたものと考えられる。このように、WBV は、筋力増強やバランストレーニングにおいて、その効果を促進させる作用があることを明らかにした。

高齢者の転倒予防に関する研究論文は大規模研究を含め多数存在するが、その多くは転倒発生を予測する評価方法として、筋力や柔軟性などの運動機能評価やバランススケールなどのテストバッテリーを用いているものがほとんどである。本課題は、特定のトレーニングの前後で、実験的につまずき後のステップ動作を誘発し、その際の下肢の踏み

出し能力を筋電図学的に分析した初めての研究である。本研究で用いたバランスエクササイズや全身振動刺激は、運動強度が比較的低い内容であり、高齢の対象者にとっても安全に遂行できたことは特筆すべき点である。3か月間の運動強度の低いバランストレーニングで、高齢女性の転倒回避動作の機能を向上させることができた。しかし、本研究で用いた転倒回避ステップが実際の転倒回避とどのような関連があるか明らかになっていない。今後は、運動介入対象者の実際の転倒発生率を詳細に分析していく必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- (1) 越智 亮, 高齢者の注意機能と転倒, シニアフィットネスリハビリテーション, 査読無, Vol. 5, 2012, 20-21
- (2) 越智 亮, 大竹卓実, 山田和政, 他, 注意干渉が高齢者の転倒防止時前方ステップ動作に与える影響, 査読有, Vol. 39, No. 6, 2012, 351-358

[学会発表] (計6件)

- (1) Akira Ochi, et al. Muscular activation pattern during step recovery from a forward fall in the older women with a fall risk. 35th Annual International IEEE EMBC Conference, 4 July, 2013, Osaka international convention center (Osaka, Japan)
- (2) 越智 亮, 他, 易転倒高齢者における前方転倒回避ステップの下肢筋活動パターン. 第48回日本理学療法学会大会, 2013年5月26日, 愛知県
- (3) Akira Ochi, et al. Effects of high-speed pedaling on fall avoidance step improvement and muscle activity pattern changes in the lower limb of elderly women. XIXth Congress of the International Society for Electrophysiology and Kinesiology ISEK 2012, 21 July, 2012, Convention and Exhibition Centre (Brisbane, Australia)
- (4) 越智 亮, 他, 転倒回避動作における高齢者に特有の複数回ステップ動作の発生と外側広筋筋活動様相との関係. 第2回日本基礎理学療法学会, 2012年5月24日, 兵庫県
- (5) 越智 亮, 他, 最大速度ペダリングトレーニングが転倒回避のための前方ステップ動作に与える効果. 第8回転倒予防

医学会研究集会, 2011年10月2日, 東京都

- (6) 越智 亮, 他, 注意干渉が高齢者の転倒防止時ステップ動作に与える影響. 第46回日本理学療法学会, 2011年5月28日, 宮崎県

[図書] (計1件)

- (1) 越智 亮 (著), 他, 牧田光代 (編), 診断と治療社, 理学法自学習ワークブック, 2012, 169

6. 研究組織

(1)研究代表者

越智 亮 (OCHI AKIRA)

星城大学・リハビリテーション学部・講師

研究者番号: 60410891

(2)研究分担者

該当なし

(3)連携研究者

該当なし