

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：33938

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25350644

研究課題名(和文)体幹の機能的トレーニングが転倒回避ステップ動作改善に与える効果の検証

研究課題名(英文)Effects of core stability training on trunk function and the stepping regain balance from a forward fall in female older adults

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：転倒リスクを持つ高齢女性に対する体幹機能トレーニングが、転倒回避に必要となる前方ステップ動作のバランス回復能力を改善させるかどうかを調査した。対象者14名は、2か月間の体幹機能トレーニング後に体幹と股関節の伸筋力が向上した。ステップ反応は対象者を前傾姿勢から解放する方法で評価した。ステップ着地時に体幹の過度の前傾を防ぐ体幹と股関節の伸筋筋の筋活動が増大していることが示された。一方、体幹前傾角度と一歩長の比で決定される安定性に関するステップ着地姿勢は、改善を認めなかった。体幹機能トレーニングのみでは、転倒リスクを持つ高齢女性のステップ着地時姿勢の改善には不十分な運動課題かもしれない。

研究成果の概要(英文)：This study was to ascertain whether core stability training for trunk function improved forward stepping which is necessary for fall avoidance in the female older adults. An about two months' intervention program of core stability exercise was increased the trunk and hip extension maximum strength in the 14 participants. The stepping reaction was induced by releasing participants from a static forward lean. It was shown that muscular activities obtained from trunk extensor and hip extensor at the step landing were increased in post-intervention. No significant change was seen in the recovery style that as defined by ratio of trunk lean angle and step length at the step landing, which contribute to stabilization after fall prevention step. The core stability training might be the intervention program that was insufficient to improve abilities of stepping regain balance in the female older adults with a fall risk.

研究分野：健康科学

キーワード：高齢者 転倒予防 体幹 トレーニング ステップ 筋電図

1. 研究開始当初の背景

ヒトは、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で転倒を回避することができる。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、一回の踏み出しで体重を支えきれず、その後によるけるように2歩、3歩と、複数回のステップが生じてしまう特徴がある¹⁾。高齢者にみられる複数回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。

研究代表者は、これまで対象者をケーブル牽引による前傾姿勢から解放して前方転倒回避ステップを誘発する (Tether-release) 方法を用いて、外乱に対する転倒回避反応を運動学的に解析してきた²⁾。また、同方法は転倒回避動作の評価手法として使用することができる。研究代表者は高齢者に下肢筋力や敏捷性を向上させるトレーニングを行わせ、ステップ動作速度を改善させることに成功したが、複数回のステップを消失させ、転倒回避動作を安定させることはできなかった³⁾。さらに、その後の1年間の追跡調査で、トレーニングを行わせた対象者8名中、1名に転倒が発生した。

前方転倒回避時の複数回のステップ反応の原因は、足部着地時のステップ長 (一步長) の減少¹⁾と、体幹前傾角度の増大⁴⁾にある。ステップ長が短く、体幹の前傾角度が大きくなると、身体重心は前方へ移動することになり、その後第二、第三のステップ反応が生じる。研究代表者は、70歳以上の女性高齢者29名を対象に、前方ステップ時の体幹の前傾角度と一步長を、一年以内に転倒経験のある易転倒群と転倒経験のない非転倒群で比較した。その結果、易転倒群においてステップ着地姿勢の体幹前傾角度が大きく、一步長が有意に減少していることが分かった。

一回のステップで転倒回避を行い、着地後の動作を安定させるには、ステップ長を増大させるとともに、外乱に対して体幹を垂直に保つ能力が求められる。転倒回避動作の不安定性が下肢だけでなく体幹機能の低下も関連しているとすれば、体幹の筋力や安定性を改善させる機能的トレーニングが高齢者に特有の複数回のステップが出る頻度を減少させる可能性があると考えた。

2. 研究の目的

- (1) 高齢者に対する体幹機能と複数回ステップ発生頻度の関係を明らかにする。

- (2) 高齢者に対する体幹機能トレーニングは、高齢者に特有の複数回ステップ反応の頻度を減少させる効果があるか明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) 前方転倒回避ステップにおける単一ステップと複数ステップ者の体幹機能の比較

① 対象者

歩行が自立している地域在住高齢女性24名を対象とした。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、体幹や下肢に強い疼痛、高度の認知症を持つ者は除外した。

② 体幹伸展筋力と股関節伸展筋力の評価

ステップ着地時の体幹前傾を抑えるために必要となる体幹伸展および股関節伸展筋の筋力を計測した。対象者をベッド上で腹臥位にし、腰部の腸骨稜をベルト固定した。体幹伸展筋力の計測のため、徒手筋力計を背面肩甲骨下角のライン上の脊柱中央に設置し、ベルト固定した。股関節筋力の計測のため、徒手筋力計を両側の大腿後面の膝窩より5cm上部に設置し、ベルト固定した。

検査者の合図とともに、対象者に最大等尺性筋力発揮を、体幹伸展、股伸展ともに3秒間行わせ、体幹伸展、股伸展筋力のピーク値を記録した。

③ ステップ形態による群分け

対象者に牽引ケーブルで背部を牽引した状態で身体を前傾させ、検査者が牽引を解放した後にステップさせる方法とした (図1)。対象者になるべく一步で踏みとどまるよう要求した。ケーブル牽引力を体重の10%から2%ずつ増加させていき、18%まで練習を行わせた。ケーブル牽引力を体重の20%に設定し、3回実施させ、1回でも複数回ステップが出現した者を複数回ステップ (multiple

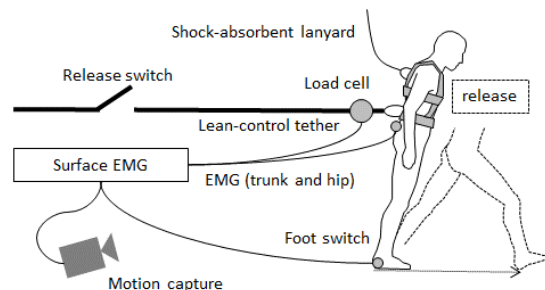


図1. 前方転倒回避ステップ誘発方法とシェーマ図。EMGと同期したLoad cell、Foot switchによって、ケーブル牽引解放、足部が離地、着地したタイミングを1ミリ秒単位で記録できる。Release switchは車載シートベルトを加工したものを使用している。

stepper ; 以下, MS) 群, 全て一歩で実施した者を単一ステップ (single stepper ; 以下, SS) 群として振り分けた. その際, 対象者毎に踏み出し脚が左右どちらかを記録した.

ステップの結果, SS 群 (年齢 73.3 ± 2.5 歳, 身長 150.5 ± 4.2 cm, 52.2 ± 6.8 kg) と MS 群 (年齢 75.0 ± 3.1 歳, 身長 152.3 ± 4.8 , 体重 54.8 ± 7.6 kg) はそれぞれ 12 名ずつであった.

④ 前方転倒回避ステップの評価

ステップ動作の運動学的分析のために光学式高速カメラ動作解析装置 (ToMoCo-VM, 東総システム社製) と, 表面筋電計 (Telemetry 2400, Noraxon 社製) を用いた. 対象者の両肩峰, 両股関節, 両膝, 両足部に動作解析用マーカーを貼付した. 筋電図導出筋は, 踏み出し脚と同側の L5 レベル脊柱起立筋 (ipsilateral elector spinae ; 以下, iES), 対側脊柱起立筋 (contra-lateral ES ; 以下, cES), 大殿筋 (gluteus maximum ; 以下, GM), とした.

③で記載した方法を用い, ケーブル牽引力を 20% に設定してステップを 3 回実施させ, ステップの時空間データと筋電図データを記録した (図 1).

筋電図波形を平滑化, 各筋の最大等尺性筋力で正規化 (%MVC) した. ステップ時に光学式カメラ動作解析装置により踏み出し脚が接地した瞬間の身体前傾角度 θ (床からの垂直軸と, 踏み出し脚と対側の肩峰—腓骨外果を結んだ線のなす角), および股関節開脚角度 α (踏み出し脚と対側の肩峰—腓骨外果を結んだ線と, 踏み出し脚の大腿骨大転子と腓骨外果を結んだ線のなす角) を記録した (図 2). さらに, α と θ の比 (α/θ) を算出し, mechanical advantage とした⁴⁾. 筋電図データ解析区間は踏み出し脚接地直前 0.1 秒から接地後に膝屈曲角度が最大に到達するまでとし, 同区間の最大筋活動量を導出した. ステップ 3 回分の, 全てのデータの平均値を SS 群と MS 群で比較した.

(2) 体幹機能トレーニングが高齢者の前方転倒回避ステップ着地時姿勢に与える効果の検証

① 対象者

歩行が自立しており, 過去 1 年以内に転倒

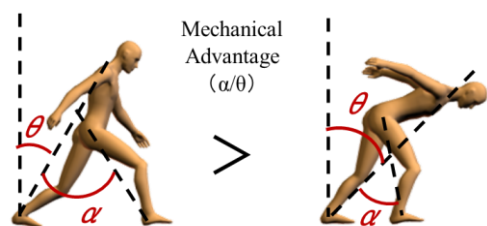


図 2. ステップ着地時姿勢の運動学的分析. θ は体幹前傾角度, α は股関節開脚角度を示す. α/θ を mechanical advantage とし, この値が小さい程, 着地時に体幹が前傾し, 一歩長が短いことを表している.

発生が 2 回以上あった地域在住高齢女性 14 名 (年齢 75.1 ± 2.9 歳, 身長 151.3 ± 5.7 cm, 体重 53.5 ± 6.8 kg) を対象とした (そのうち 9 名は研究(1)の MS 群に含まれていた). 除外基準は研究(1)と同様であった.

対象者の身体機能レベルの評価に Short Physical Performance Battery (SPPB)⁵⁾を用いた. 対象者の各種運動機能は以下の通りであった {中央値 (範囲) および平均値 \pm 標準偏差で示す}; SPPB 9.0 (7-10), 転倒回数 2 (2-4 \leq), 利き足の膝伸展筋力体重割合 37.2 \pm 10.6%.

② 体幹伸展筋力と股関節伸展筋力の評価

研究(1)と同様の方法を用いた.

③ 前方転倒回避ステップの評価

研究(1)と同様の方法を用いた. なお, 研究(1)で行われた練習と同じ内容でケーブル牽引力を体重比 10% から開始し, 1% ずつ増加させていき, 単一ステップから複数ステップに変わったときのケーブル解放直前の身体前傾角度 (研究(1)の θ のケーブル解放直前の値) を記録した.

対象者 14 名は, 後述のトレーニング前のベースライン時において, 体重の 20% ケーブル牽引力解放からのステップ着地時に, 全員が複数ステップ戦略を用いた.

④ 体幹機能トレーニング

高齢女性でも実施可能なコアスタビリティトレーニングを選択した. Okubo Y et al.⁶⁾ が基本的なコアスタビリティトレーニングとして紹介しているもののうち, elbow-toe, hand-knee, back bridge, side bridge, curl-up の 5 種類, およびランジ動作 (体幹を垂直に保持したまま下肢を大きく一歩踏み出し, 前方下肢の膝を深く曲げ腰を落とし, 戻す, 対側下肢も同じく, この踏み出しを交互に繰り返す) をホームプログラムとして提供した.

実施頻度は, 1 日約 30 分間, 週 3~4 日, 8~10 週間, 合計で 32 回のトレーニングとした (対象者の体調によって 1 週間の実施頻度を変更した). プロトコル遵守は, 1 週間毎に研究代表者からの電話によって確認された.

4. 研究成果

(1) 前方転倒回避ステップにおける単一ステップと複数ステップ者の体幹機能の比較

SS 群と MS 群の体幹伸展筋力はそれぞれ 1.89 ± 0.51 Nm/kg, 1.74 ± 0.39 Nm/kg であり, 統計学的有意差は認められなかった (students t-test, $p = 0.42$). 一方, 股関節伸展筋力は SS 群と MS 群でそれぞれ 0.89 ± 0.25 Nm/kg, 0.70 ± 0.18 Nm/kg で, 有意に SS 群が大きかった (t-test, $p < 0.04$).

表 1. SS 群と MS 群のステップ着地時姿勢の特徴

	SS (n=12)	MS (n=12)	p-value
Initial lean angle (deg)	11.0 ± 1.8	10.2 ± 1.7	0.29
θ (deg)	23.4 ± 5.6	28.9 ± 6.0	0.03
α (deg)	40.8 ± 11.9	30.9 ± 7.6	0.01
Mechanical advantage, (α/θ)	1.86 ± 0.80	1.10 ± 0.29	0.01
Maximum KF angle (deg)	48.2 ± 11.9	37.3 ± 12.4	0.04
Stance phase time (msec)	207 ± 77	143 ± 63	0.04
Step velocity (m·s ⁻¹)	2.17 ± 0.47	1.86 ± 0.40	0.10

値は全て平均値±標準偏差で示す。SS：単一ステップ群，MS：複数ステップ群，Initial lean angle：ケーブル解放前の身体前傾角度，Maximum KF angle：ステップ着地後に踏み出し脚の膝が最大屈曲した時の角度，Stance phase time：ステップ着地後から膝が最大屈曲するまでの時間，Step velocity：ステップ開始から着地までの平均ステップ速度。正規性の検定の後，全て t-test による統計結果を示す。

ステップ着地時の姿勢を表 1 に示す。SS 群は MS 群に比べ，θ が有意に小さく (p<0.05)，α が有意に大きく (p<0.01)，mechanical advantage は有意に大きい値であった (p<0.01)。

例として，全被験者のステップ中の cES の筋活動様相を図 3 に示す。SS 群は MS 群よりもステップ着地直後のピーク筋活動量が大きいことが分かる。iES も GM も，cES と似通った波形を示した。iES を除き，cES と GM のピーク筋活動量は SS 群が MS 群よりも有意に大きい値であった (図 4)。

これらの結果から，SS で転倒回避するためには体幹前傾角度を小さく保ち，一歩長を大きく下肢の踏み出しを行う必要があることが分かった。特に，体幹伸展筋力に関しては，MS 群と SS 群で差がないにも関わらず，ステップ着地時の cES の筋電図では MS 群の方が瞬間的な筋活動量が小さいことから，転倒回避ステップによるバランス回復能力を改善するためには，最大伸展筋力の向上よりも，適切なタイミングに大きな筋力を発揮する筋の協調性の改善が必要であることが示唆された。

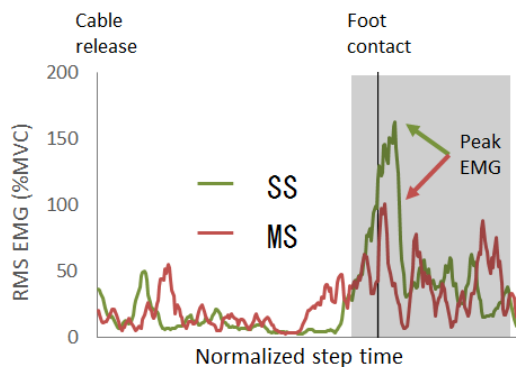


図 3. 全対象者におけるステップ中の踏み出し脚と対側の脊柱起立筋活動の加算平均処理波形。Normalized step time はケーブル解放からステップ着地時点まで，およびステップ着地時点から踏み出し脚の膝屈曲が最大になった時点までをそれぞれ正規化したもの。

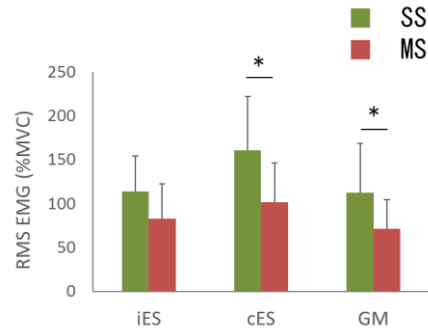


図 4. SS 群と MS 群のステップ着地後のピーク筋活動量。瞬間的なピーク筋活動量を記録しているため，各筋最大等尺性収縮時の筋活動量である 100%MVC を超えている点に注意が必要。

*: t-test で p<0.05

(2) 体幹機能トレーニングが高齢者の前方転倒回避ステップ着地時姿勢に与える効果の検証

全対象者の体幹伸展筋力はトレーニング後に有意に向上した (1.62 ± 0.33 Nm/kg → 1.70 ± 0.38 Nm/kg, paired t-test で p<0.05)。また，股伸展筋力もトレーニング後に有意に向上した (0.67 ± 0.20 Nm/kg → 0.70 ± 0.19 Nm/kg, paired t-test で p<0.05)。

表 2 に，SS でバランス回復できる身体前傾角度，およびステップ着地時の姿勢を示す。トレーニング後に，対象者全員が SS でバランス回復できる身体前傾角度がトレーニング後に有意に増大した (paired t-test で p<0.01)。一方，ステップ着地時姿勢の体幹前傾角度である θ，一歩長を表す股開脚角度 α，および安定性の指標となる mechanical advantage は全て改善を認めるものの，統計学的に有意な変化はなかった。トレーニング後に体重の 20% 牽引力解放からのステップにおいて，SS でバランス回復に成功した対象者が 14 名中 2 名いた。

ステップ着地後のピーク筋活動量は，全ての筋においてトレーニング後に有意な増大が認められた (図 5)。

これらの結果から，転倒リスクのある高齢者のステップ着地時姿勢の改善には，体幹機能トレーニングのみでは不十分で，下肢の筋力トレーニングやバランストレーニングを含めた総合的な運動が必要であると考えら

表 2. トレーニング前後の SS バランス回復能力とステップ着地時姿勢の変化

	pre-	post-	p-value
SS BR (deg)	6.3 ± 1.2	8.1 ± 1.5	<0.01
θ (deg)	29.4 ± 5.5	26.6 ± 5.6	0.11
α (deg)	29.0 ± 6.0	29.6 ± 7.0	0.50
Mech. Advan. (α/θ)	1.01 ± 0.21	1.16 ± 0.34	0.09
Max. KF angle (°)	41.0 ± 15.3	42.3 ± 15.5	0.09

値は全て平均値±標準偏差で示す。SS BR：単一ステップでバランス回復できる身体前傾角度，Mech. Advan.：メカニカルアドバンテージ (α/θ)。全て t-test による結果を示す。

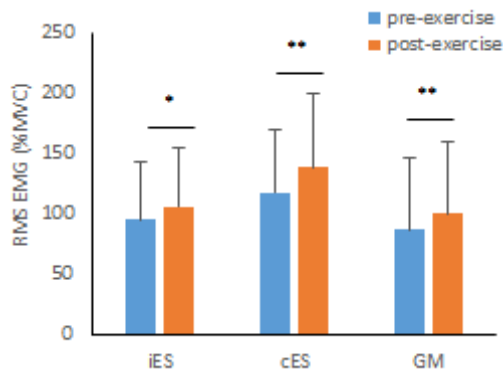


図5. トレーニング前後におけるステップ着地後の3筋のピーク筋活動量.

*: t-test で $p < 0.05$, **: t-test で $p < 0.01$

れた。ただし、体幹伸展筋力と股関節伸展筋力、またステップ着地後の体幹伸展および股伸展筋の筋活動量がトレーニング後に増大していたため、体幹機能トレーニングの筋力改善、あるいは協調性改善の効果はあったものと考えられる。また、 θ の改善率と iES, cES, GM の筋活動量変化率との間に有意な相関関係がなかったことから、ステップ着地後の体幹伸展や股伸展筋群の活動量と着地時姿勢の体幹前傾角度との関連性は明らかにならなかった。

本研究の限界として、1) より高い能力の体幹機能を評価するテストバッテリーがなく、体幹のコアスタビリティトレーニングが対象者の体幹機能を向上させたかどうか定かでないこと、2) サンプルサイズが小さいために検出力が低く、体幹機能トレーニングが転倒回避ステップの着地時姿勢に与える影響が未だ不明であること、3) 本研究で用いたコアスタビリティトレーニングが転倒回避動作を改善させるための体幹機能トレーニングとして最も有効な運動課題であったかどうか不明であること、が挙げられる。

本研究終了後、1年後の研究代表者による電話での追跡調査で、トレーニング後に転倒回数が減った、あるいは転倒しなかった者が14名中10名おり、10名中9名が自宅で継続した運動(散歩, 体操, スクワットなどの筋力トレーニング)を行っていた。本研究で用いたコアスタビリティトレーニングを継続している者がいなかったことから、本運動内容が高齢者の方々に興味を持たせるものでなかったことが考えられた。

結論として、転倒リスクのある高齢女性に対する体幹機能トレーニングは、転倒回避ステップ着地時の体幹前傾を止めるのに必要な体幹伸展筋力や股伸展筋力を向上させ、またこれらの筋のステップ動作時の機能的な働き(タイミングよく大きな筋活動を発揮することができる)を改善させた。しかし、同トレーニングがステップ着地姿勢を改善させ、転倒リスクを減少させる効果については明らかにすることができなかった。

<引用文献>

- 1) Maki BE, McIlroy WE: Control of rapid limb movements for balance recovery: age-related changes and implications for fall prevention. *Age Ageing*, 2006, 35: ii12-ii18.
- 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. *理学療法学*, 2012, 39: 351-358.
- 3) Ochi A, Tsushima A, Takaishi T: 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) Hsiao-Weckler ET, Robinovitch SN: The effect of step length on young and elderly women's ability to recover balance. *Clin Biomech*, 2007, 22: 574-580.
- 5) Guralnik JM, Simonsick EM, Ferrucci L, et al.: A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *J Gerontol*, 1994, 49: M85-94.
- 6) Okubo Y, Kaneoka K, Imai A, et al.: Electromyographic analysis of transversus abdominis and lumbar multifidus using wire electrodes during lumbar stabilization exercises. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2010, 40: 743-50.

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3件)

- ① 越智亮. 高齢者の転倒回避動作とリハビリテーション, *愛知県理学療法学会誌*, 査読無, Vol. 27, No. 2, 2015, pp41-47, <http://ci.nii.ac.jp/naid/40020695026>
- ② Akira Ochi, Tomokazu Abe, Kazumasa Yamada, et al. Effect of balance exercise in combination with whole-body vibration on muscle activity of the stepping limb during a forward fall in older women: A randomized controlled pilot study, *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 査読有, Vol. 60, No. 2, 2015, pp244-251, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167494314002234?via%3Dihub>
- ③ Akira Ochi, Shinya Yokoyama, Tomokazu Abe, et al. Differences in muscle activation patterns during step recovery in elderly women with and without a history of falls, *Aging Clinical and Experimental Research*, 査読有, Vol. 26, No. 2, 2014, pp213-220, <https://link.springer.com/article/10.1007%2F>

40520-013-0152-4

〔学会発表〕（計 1 件）

- ① 越智亮, 松下明日香, 安積亜津子, 他. 高齢者の前方転倒回避ステップ着地後の安定性に関わる体幹伸展筋活動, 第 51 回日本理学療法学会大会, 2016 年 5 月 27-29 日, 北海道札幌市

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

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

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()