

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：33916

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350637

研究課題名(和文) ロボットを用いたバランス練習におけるバランス能力とアンクル/ヒップ戦略の変化

研究課題名(英文) Change or ability and strategy of balance after exercise using the robot

研究代表者

平野 哲 (HIRANO, Satoshi)

藤田保健衛生大学・医学部・講師

研究者番号：80535419

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：バランス障害を有する患者23名に対してBEARと従来バランス練習のCrossover studyを行った。BEAR介入前後では、快適歩行速度、TUG、FRT、中殿筋筋力、下腿三頭筋筋力に有意な改善を認めた。1名の患者においてはEqui testを行い、足関節戦略の関与が上昇を示した。健常者7名に対して、3種類のゲームで、4段階の難易度の練習を行い、この時の下肢筋活動を表面筋電図によって評価した。各ゲームの筋活動量は難易度の上昇に伴い増加した。前後への重心移動練習中の三次元動作解析・表面筋電図同時計測を健常者、患者各1名に対して実施した。患者においては、健常者よりも膝関節の運動が大きかった。

研究成果の概要(英文)：We conducted the crossover study of BEAR and conventional balance exercise for 23 patients with balance disorder. Comfortable gait speed, Timed up and go test, Functional reach test, muscle strength of gluteus medius and triceps surae improved after BEAR exercise intervention period. For one of the patient, we evaluated the balance strategy using Equi test, and involvement of ankle strategy increased.

In another research, subjects, comprising seven healthy adults, played 3 types of games. The games had four levels of difficulty and each game was played for 90 seconds. Surface electromyography was used to measure 16 muscles of bilateral lower extremities. Mean muscle activity was calculated from muscle integrated electromyography. Muscle activity in each game increased with the degree of difficulty. 3D motion analysis and surface electromyography was evaluated simultaneously for one healthy subject and one hemiplegic patient. The range of motion of knee angle was larger in the subject.

研究分野：リハビリテーション医学

キーワード：リハビリテーションロボット バランス 転倒予防

1. 研究開始当初の背景

在宅高齢者における転倒の年間発生率は約10~20%とされており、転倒の5~10%に骨折が発生すると言われている。要介護状態の原因として「転倒と骨折」は全体の9.3%を占めるとの報告もある(2007年度国民生活基礎調査)。高齢者が自立し、豊かな生活を送るために、転倒予防の意義は大きい。

人間がバランスを保つために用いる代表的な戦略としてAnkle / Hip strategyが知られている。Ankle strategyとは、足関節でトルクを生み出すことにより、全身を単一倒立振り子として動かし、重心を元に戻す戦略である。Hip strategyとは、全身を二重倒立振り子として動かす戦略であり、足関節と股関節が逆方向に動く。一般に、細かいバランスの調整はAnkle strategyで行われており、軟らかい面や短い梁の上など、足関節のトルクが作用しにくい状況ではHip strategyが関与する。

しかし、従来のバランス練習は必ずしもAnkle / Hip strategyの強化には繋がっていないと考えられる。例えば、Kitchen sink exercise(机を持って、スクワットや下肢挙上を行う)や太極拳といったバランス練習は下肢筋力強化には繋がるが、Ankle / Hip strategyを用いてバランスをとるという課題ではないため、転移性が低い。片脚立位練習やバランスボード練習では、Ankle / Hip strategyが用いられるが、多くの患者にとっては難しすぎて実行不可能であった。

一方、我々が開発したバランス練習アシスト(Balance Exercise Assist; BEAR)は、従来のバランス練習とは全く異なる練習を患者に提供する。立ち乗り型パーソナル移動支援ロボットには左右2つのタイヤあり、それぞれが独立したモータによって制御されている。タイヤの上にステップがあり、使用者はステップの上に立ち、ハンドルを握って直立の姿勢でロボットの操作を行う。ステップ上で重心を移動することによって、直進/後退、左右旋回が可能である。ロボットの位置情報や姿勢は無線LANを用いて外部のコンピュータに取り出すことができるため、我々は3つの専用ゲームを開発した。

テニスゲームは、ロボットを前後に操作するとコンピュータゲーム上のプレイヤーも前後に動く設定であり、前後の重心移動練習となる。サッカーゲームは、ロボットを左右に旋回させるとコンピュータゲーム上のプレイヤーが左右に動く設定であり、左右の重心移動練習となる。バスケットゲームは、ロボットがランダムに直進/後退及び左右旋回し、患者はこれに逆らってロボットの動きを止めるという外乱対処練習である。

重心移動練習ではロボットを能動的に操作するために、股関節、足関節を用いて足底面の角度を変化させることが必要であり、これはAnkle / Hip strategyと類似した課題であるため、転移性が高い。外乱対処練習では

ロボット上でバランスを保つために股関節、足外乱対処練習ではロボット上でバランスを保つために股関節、足関節の運動を行う必要があり、これはAnkle / Hip strategyそのものである。以上より、BEARを用いたバランス練習は、使用者のAnkle / Hip strategyの強化に繋がると考えられる。

これまでに、補装具なしで屋外歩行可能であるがバランス能力低下を認める慢性期中枢神経障害患者9名を対象に、バランス練習アシストを用いて週2回、4週間のバランス練習を行ったところ、練習前後でのバランス能力の改善を認めた(Ozaki K, Kagaya H, Hirano S, et al: Preliminary trial of postural strategy training using a personal transport assistance robot for patients with central nervous system disorder. Arch Phys Med Rehabil. 2012)。この結果より、BEARがバランス能力改善に有効である可能性が示唆されたが、BEARが従来のバランス練習より有効性が高いことや、BEAR練習の作用機序については十分に示されていない。

2. 研究の目的

- (1) バランス能力改善に対して、BEARを用いたバランス練習が、従来のバランス練習よりも有効性が高いことを示す。
- (2) BEARを用いたバランス練習により、バランス戦略の変化があるか検討する。
- (3) BEARの3種類の専用ゲームのレベルを変更することにより、練習難易度が変化することを確認する。
- (4) BEAR操作中の三次元動作解析・表面筋電図計測を、健常者と麻痺疾患患者において実施し、結果を比較する。

3. 研究の方法

- (1) 対象は、発症から6ヶ月以上経過した慢性期中枢神経疾患患者で、バランス能力低下を認めるが、屋内歩行が修正自立以上である(杖や装具を用いてもよいので、日常的に歩行を行っている)者を対象とした。対象は乱数表を用いてBEARを用いたバランス練習を先に行った後に従来バランス練習を行う群(BEAR先行群)と従来バランス練習を先に行った後にBEARを用いたバランス練習を行う群(従来先行群)に振り分けられる。BEARを用いた練習、従来バランス練習はそれぞれ1回20分、週2回、8週間(合計16回)実施する。BEAR練習の内訳は、予備練習2分、テニスゲーム6分、スキーゲーム6分、ロデオゲーム6分とした。従来練習の内訳は、予備練習2分、筋力増強練習6分、応用動作練習6分、静止バランス練習6分とした。評価項目は、下肢筋力として腸腰筋、中殿筋、大腿四頭筋、ハムストリングス、前脛骨筋、下腿三頭筋の各筋力、静的バランス能力として総軌跡長、実効値面積、矩形面積、外周面積、動的バランス能力として継ぎ足歩行速度、連

続継ぎ足歩数, Cross test, Functional Reach Test (以下 FRT と略す), Time Up and Go Test (以下 TUG と略す), Berg Balance Scale (以下 BBS と略す) とし, 介入前, 開始 4 週後, 8 週後 (先行練習終了直後), 12 週後, 16 週後 (両方の練習終了後), 20 週後とした. 下肢筋力の測定にはハンドヘルドダイナモメータを, 静的バランス能力の計測には重心動揺計を用いた. BBS 以外の全項目を 2 回ずつ計測し, 最良値を結果として採用した.

(2) (1)の研究に参加した対象のうち協力が得られた 1 名の患者であり, 左視床出血による右片麻痺を呈した 40 歳代男性である. (1)の評価に加えて, BEAR を用いた練習介入の前後に Equi Test の Sensory Organization Test (以下 SOT と略す) を実施した.

(3) 健常成人 7 名 (男性 7 名, 平均年齢 25 ± 4 歳, 身長 173 ± 5 cm, 体重 63 ± 11 kg) を対象とし, 重心移動課題のテニスとスキー, 外乱対処課題のロデオからなる 3 種類のゲームを, 4 段階の難易度で 1 ゲームあたり 90 秒間ずつ施行した. 表面筋電図は両下肢の大殿筋, 中殿筋, 大腿直筋, 内側広筋, 大腿二頭筋長頭, 前脛骨筋, 腓腹筋内側頭, 長腓骨筋の計 16 筋から導出した. 皮膚表面をアルコール綿できれいに拭き, 直径 10mm のディスク電極 (LecTrode, Tokyo, Japan) を各筋腹中央よりも 2cm 遠位に電極間距離 10mm で貼付した. 筋電計はテレメトリー心・筋電計 MQ16 (キッセイコムテック株式会社, 松本市, 日本) を用いた. 筋電図はサンプリング周波数 1000Hz で A/D 変換後, 各波形を KinemaTracer® (キッセイコムテック株式会社, 松本市, 日本) を用いて 10-500Hz のバンドパスフィルタで処理し, 20Hz の RMS 波形に変換した. 波形の正規化には各筋の最大随意収縮 (maximal voluntary isometric contraction: MVIC) を用いた. 各ゲームの開始と終了合図は, BEAR からのトリガー出力で規定した. 1 ゲームあたり 90 秒間の筋積分値を求め, 単位時間あたりの平均筋活動量 (%MVIC) を算出した. 難易度に伴う筋活動量の変化をみるために, 対象 7 人の計 14 肢の各筋の筋活動量 (%MVIC) の平均値を算出した. 統計学的検定には SPSS statistics 23 (IBM, Japan) を用いた. ゲーム別のデータは反復測定による分散分析 repeated measure ANOVA を用い, ゲーム間のデータは一元配置分散分析 1way-ANOVA に加え, post-hoc test として Bonferroni の検定を用いた. 有意水準は 5% とした.

(4) BEAR 操作中の三次元動作解析・表面筋電図として, 前後への重心移動練習中の三次元動作解析・表面筋電図同時計測を健常者, 患者それぞれ 1 名に対して実施した. 健常者は 30 歳男性で, 運動機能に影響を与える既往歴はない. 患者は左脳梗塞により右片麻痺を呈した 47 歳男性である. Stroke impairment Assessment Set の下肢運動機能は 4-4-4 であり, 短下肢装具を用いて歩行は

修正自立であった. 計測する課題としてテニスゲームを用いた. ゲーム開始から 2272msec 後に一定の位置にボールが来るような課題を準備し, 対象者はできるだけ中心でボールを打ち返すように指示した. 最初のボールを打ち返したところで計測を終了とし, 同じ課題を 3 回繰り返して計測を行った. 筋電図の計測方法は (3) と同様であるが, 対象とする筋は両下肢の大腿直筋, 内側広筋, 大腿二頭筋長頭, 前脛骨筋, 腓腹筋内側頭, 長腓骨筋の計 12 筋とした. 三次元動作解析装置として KinemaTracer (キッセイコムテック社) を用い, サンプリング周波数 60Hz で計測を行った. カラーマーカを両側の肩峰, 肘頭, 尺骨頭, 大転子, 膝関節外側, 足関節外果, 第 5 中足骨頭に装着し, CCD カメラ 4 台で撮影した.

4. 研究成果

(1) 23 名の患者に対して介入を終えた (BEAR 先行群 11 名, 従来練習 12 名). BEAR 介入前後では, 快適歩行速度, Timed up and go test, Functional Reach Test, 中殿筋筋力, 下腿三頭筋筋力に有意な改善を認めた. また, 従来練習との比較では, 有意差は出ていないが, 快適歩行速度, 継ぎ足歩行速度, 連続継ぎ足歩数, Functional Reach Test, 下肢筋力 6 筋中 5 筋で BEAR の方が優れた結果を認めた. (2) BEAR 練習介入前後で, SOT の strategy score は条件 5, 条件 6 が向上し, 足関節戦略がより使われるようになった. BEAR 練習によりバランス機能が底上げされ, SOT では不安定な条件にて安定性の向上に伴い足関節戦略の関与が増加し, TUG, FRT の改善にも繋がったと考えられた.

(3) 各ゲームにおける筋活動量は難易度の上昇に伴い増加した. テニスでは, 中殿筋, 大腿直筋 ($p=.025$), 内側広筋 ($p=.013$), 前脛骨筋 ($p=.004$), 腓腹筋 ($p<.001$) の筋活動量が有意に増加した. スキーでは, 中殿筋 ($p=.033$), 大腿直筋 ($p=.004$), 内側広筋 ($p=.008$), 前脛骨筋 ($p=.005$), 腓腹筋 ($p=.019$), 長腓骨筋 ($p=.043$) の筋活動量が有意に増加した. ロデオでは, 中殿筋 ($p<.001$), 大腿直筋 ($p<.001$), 内側広筋 ($p=.026$), 前脛骨筋 ($p=.001$), 腓腹筋 ($p=.001$), 長腓骨筋 ($p=.002$) の筋活動量が有意に増加した. 各ゲームにおける筋活動の特徴は, 難易度の上昇にあわせて顕著となった. Lv4 のテニスでは腓腹筋の筋活動量 (7.7 ± 3.9) が最も高く, 次に長腓骨筋 (4.4 ± 2.9) が高かった. 内側広筋 (4.3 ± 2.9), 大腿二頭筋 (4.1 ± 3.4), 大腿直筋 (3.4 ± 1.8), 中殿筋 (3.3 ± 3.3), 前脛骨筋 (2.3 ± 1.5) の順に筋活動量は少なくなり, 大殿筋 (0.9 ± 0.6) の活動量が最も少なかった (図 1).

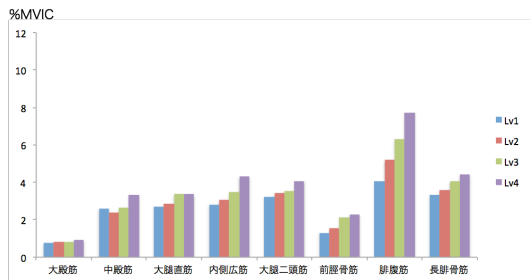


図1 テニス中の平均筋活動量の推移

Lv4 のスキーでは長腓骨筋の筋活動量 (9.8 ± 7.8) が最も高く、次に腓腹筋 (6.6 ± 5.3) が高かった。内側広筋 (4.5 ± 3.4)、大腿二頭筋 (3.9 ± 1.8)、中殿筋 (3.3 ± 2.9)、大腿直筋 (3.3 ± 1.8)、前脛骨筋 (2.5 ± 2.1) の順に筋活動量は少なくなり、大殿筋 (1.3 ± 0.8) の筋活動量が最も少なかった (図2)。

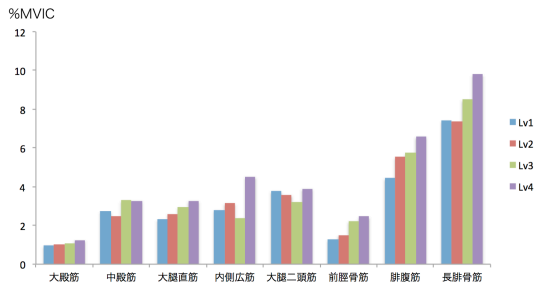


図2 スキー中の平均筋活動量の推移

Lv4 のロデオではテニスと同様に腓腹筋の筋活動量 (11.5 ± 5.8) が最も高く、次に長腓骨筋 (8.0 ± 4.7) が高かった。テニスやスキーとは異なり、次に中殿筋 (5.1 ± 3.6) と前脛骨筋 (4.8 ± 2.7) が高かった。内側広筋 (4.5 ± 2.9)、大腿直筋 (4.4 ± 1.9)、大腿二頭筋 (4.2 ± 3.2) の順に少なくなり、大殿筋 (1.3 ± 0.8) の筋活動量が最も少なかった (図3)。

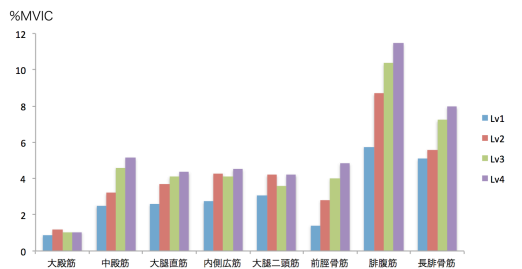


図3 ロデオ中の平均筋活動量の推移

Lv4 におけるゲーム間を比較すると、前脛骨筋ではロデオの筋活動量がテニス ($p=.009$)、スキー ($p=.017$) よりも有意に大きかった。腓腹筋ではロデオの筋活動量がスキーよりも有意に大きく ($p=.045$)、長腓骨筋ではスキーの筋活動量がテニスよりも有意に大きかった ($p=.041$) (図4)。

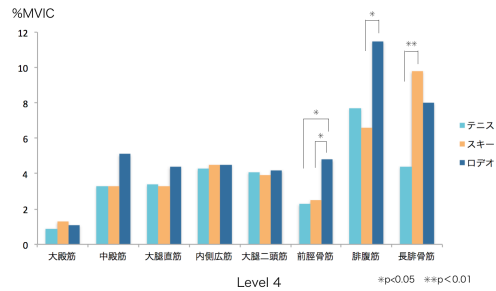


図4 ゲーム間の平均筋活動量の比較

これらの結果から、BEAR を用いた 3 種類のゲームは難易度に応じて筋活動量の調整をしながら、股関節・膝関節・足関節の運動を介した定量的なバランス練習を可能にすることが示唆された。

(4) 健常者においては、前方加速時に足関節背屈、後方加速時に股関節屈曲・足関節底屈が観察された。前方加速時には前脛骨筋、後方加速時には大腿二頭筋、腓腹筋の関与が考えられた。患者においては、健常者よりも膝関節の運動が大きく、膝関節運動がバランス制御に関与していることが示唆された。

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 平野 哲, 才藤 栄一, 田辺 茂雄, 加藤 正樹, 山田 純也, 矢筈原 隆造, 脳卒中 回復期・生活期～TOYOTA パートナーロボット～: 歩行練習アシスト・バランス練習アシスト, Monthly Book MEDICAL REHABILITATION, 査読無, 194号, 2016, 16-21
- ② Ken Ishihara, Satoshi Hirano, Eiichi Saitoh, Shigeo Tanabe, Norihide Itoh, Ryuzo Yanohara, Tsubasa Katosh, Yuya Sawada, Tetsuya tsunoda, Hitoshi Kagaya, Characteristics of Leg Muscle Activity in Three Different Tasks Using the Balance Exercise Assist Robot. Jpn J Compr Rehabil Sci. 査読有, Vol. 6, 2015, 105-112
- ③ 平野 哲, 才藤 栄一, 田辺 茂雄, 石原 健, ロボットを用いたリハビリテーション, 日本臨床, 査読無, 72 巻, 増刊5号, 2014, 682-685

[学会発表] (計 7 件)

- ① 平野 哲, リハビリテーションロボットの効果と可能性, リハビリテーションケア合同研究大会 神戸 2015, 2015年10月2日, 神戸国際会議場 (神戸)
- ② Ken Ishihara, Eiichi Saitoh, Satoshi Hirano, Hitoshi Kagaya, Norihide Itoh, Shigeo Tanabe, Tsubasa Kato, Hiromasa Kaito,

Yuya Sawada , Youichi Fujinori ,
Muscle Activities during Practice
with Balance Exercise Assist Robot,
9th International Society of Physical
and Rehabilitation Medicine World
Congress, June 6, 2015, Berlin (Germany)

- ③ Satoshi Hirano , Eiichi Saitoh ,
Developing Rehabilitation Robots
Fujita Health University
Rehabilitation Experience, 1st Seoul
National University Bundang Hospital
Robotic Rehabilitation Symposium ,
November 28, 2014, Bundang (Korea)
- ④ 石原 健, 才藤 栄一, 平野 哲, 伊藤
慎英, 田辺 茂雄, 加藤 翼, 海藤 大
将, 井伊 卓真, 澤田 雄矢, 藤範 洋
一, バランス練習アシスト使用中の筋活
動量, 第51回日本リハビリテーション医
学会学術集会, 2014年6月6日, 名古屋
国際会議場 (名古屋・愛知)
- ⑤ 平野 哲, バランス練習アシストの効果
と可能性, 第51回日本リハビリテーショ
ン医学会学術集会, 2014年6月5日, 名
古屋国際会議場 (名古屋・愛知)
- ⑥ Satoshi Hirano, Eiichi Saitoh, Hitoshi
Kagaya, Ken Ishihara, Norihide Itoh,
Shigeo Tanabe, Yoichi Fujinori, Balance
Exercise Assist Robot for Patients
with Balance Difficulties ,
International Symposium for 50th
Anniversary of the Japanese
Association of Rehabilitation, April
19, 2014, Tokyo (Japan)
- ⑦ Satoshi Hirano, Eiichi Saitoh, Hitoshi
Kagaya, Ken Ishihara, Norihide Itoh,
Shigeo Tanabe , Youichi Fujinori ,
Effectiveness of Balance Exercise
Assist Robot, 8th World Congress of
NeuroRehabilitation, April 9, 2014,
Istanbul (Turkey)

[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：なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平野 哲 (HIRANO, Satoshi)
藤田保健衛生大学・医学部・講師)
研究者番号：80535419

(2) 研究分担者

才藤 栄一 (SAITOH Eiichi)
藤田保健衛生大学・医学部・教授
研究者番号：50162186

加賀谷 斉 (KAGAYA Hitoshi)
藤田保健衛生大学・医学部・教授
研究者番号：40282181

田辺 茂雄 (TANABE Shigeo)
藤田保健衛生大学・医療科学部・准教授
研究者番号：50398632

(3) 連携研究者

()

研究者番号：