

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350513

研究課題名(和文) バランスアシスト装置のための体性感覚フィードバック法の確立

研究課題名(英文) Development of balance assist device using vibrotactile feedback

研究代表者

福岡 豊 (Fukuoka, Yutaka)

工学院大学・工学部・教授

研究者番号：30242217

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：姿勢の保持が困難な人に姿勢情報をフィードバックすることによって、バランス機能の補助が可能である。我々は、そのようなアシスト装置の開発している。健常者を対象として、身体を模擬した倒立振り子モデルを振動刺激によるフィードバック情報のみで制御する実験を行い、モデルの傾斜角情報をどのようにエンコードすればよいのかを検討した。モード1では単純なエンコード法を、モード2では細かく情報を与えるためのエンコード法を用いた。実験の結果、予想に反して、モード1のほうが制御成績がよかった。さまざまな検討を行い、エンコード法の設計の際に、時間的な信号を考慮していないことが問題となっていることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the applicability of information encoding methods for a balance assist device using vibrotactile feedback. In the device, two motors were employed to provide information on the model's sway angle in each of the forward and backward directions. In the experiment involving ten healthy volunteers, two encoding modes with different vibration patterns were compared using an equivalent body model. The influence of proficiency level was also investigated. The results indicated that a simple encoding method outperformed a complex one even after the proficiency level was improved. Further analyses on the input and output of the model indicated the necessity of a time domain signal for encoding feedback information with the complex encoding methodology.

研究分野：生体医工学

キーワード：姿勢制御 アシスト装置 体性感覚フィードバック 振動刺激 等価身体モデル

1. 研究開始当初の背景

ヒトは身体動揺に関する情報を視覚、前庭覚、体性感覚の3つの感覚を用いて検出し、直立姿勢を維持している[1-3]。これらの感覚系の疾患によって直立姿勢の保持が困難な患者が、高齢者を中心に増加している。予備軍を含めると日本だけでも数百万人いるといわれる。彼らの日常生活を支援する装置の開発が急務である。

そのような患者に対して、身体傾斜角や頭部の速度・加速度などの情報をフィードバックすることによって、直立姿勢の保持を支援する装置(バランスアシスト装置)が提案されている[4-6]。しかし、いずれの装置も実用化には至っていない。その主な理由は、情報フィードバック法の検討が不十分なためであると考えられる。

2. 研究の目的

患者が日常生活で使用することを考えると、視覚や聴覚を使うフィードバック法は、会話や歩行時の障害となるので使用できない。したがって、皮膚への電気刺激や振動刺激などの体性感覚を通じたフィードバックが現実的である。

そこで、本研究では、(1)複数の振動提示装置を組み合わせることで身体傾斜角を体性感覚によってフィードバックする方法の考案、(2)考案した方法で直立姿勢を模擬した倒立振り子モデル(図1)を安定化できるかの検証を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

(1)身体傾斜角の体性感覚によってフィードバックする方法の考案

4個の振動刺激提示装置で被験者に身体傾斜角に関する情報を的確にフィードバックする方法を検討した。振動刺激提示装置は、図2のように、両肩および鎖骨下に配置した。

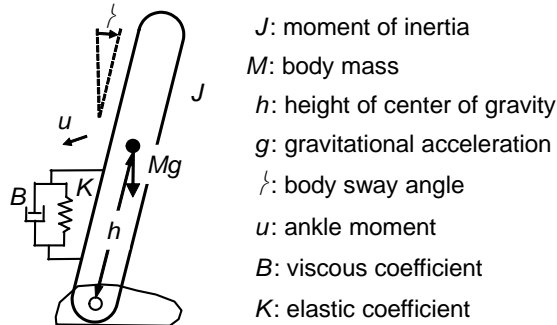


図1 1リンク倒立振り子モデル

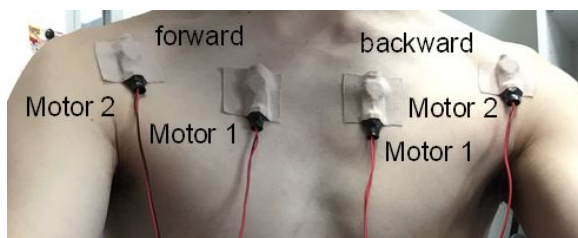
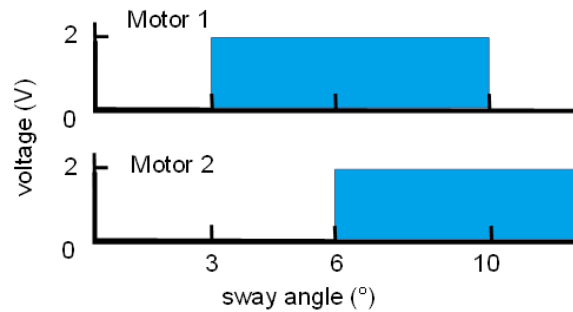
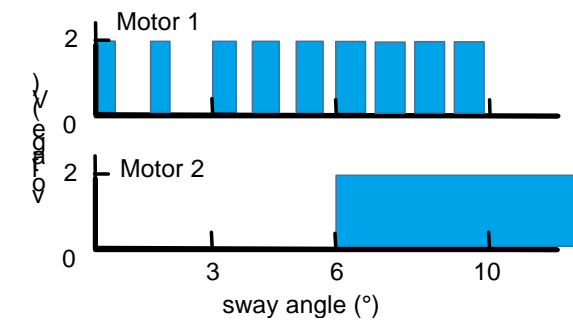


図2 振動刺激提示装置



(a) モード1



(b) モード2

図3 振動刺モード

刺激装置は、肌 directly キネシオロジーテープで固定した。

振動刺激パターンには、図3の2つのモードを用いた。各モードにおいて、倒立振り子モデルが前または後に傾斜したときに、右または左側のモータが振動する。

モード1では、身体傾斜角が3°を超えるまでモータは振動しない。3~6°の間ではモータ1のみが、6~10°では両方のモータが、10度以上ではモータ2のみが振動する。

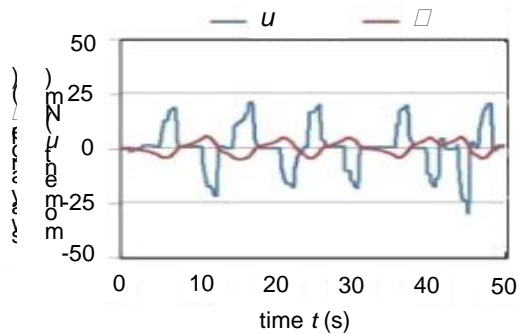
モード2では、モータ1は傾斜角が大きくなるにつれて、周波数とデューティ比が大きくなる矩形波によって駆動される。これは、傾斜角に関する詳細な情報を与えるためである。一方、モータ2は10°を超えるまで振動しない。

(2) 倒立振り子モデルを用いた検証

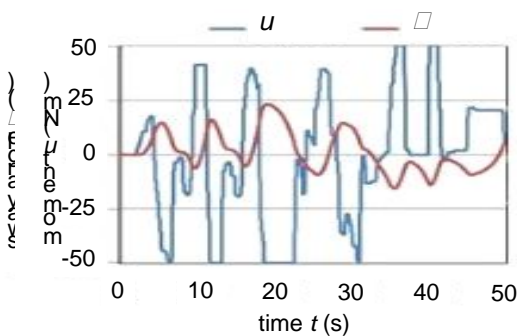
神経疾患、筋・骨格系の異常などのない健康者10人を対象として、上記の2つの振動モードを用いた検証を行った。健康者は、体性感覚フィードバック情報がなくても直立姿勢を維持できるので、コンピュータ内に構築した倒立振り子モデル(図1)を制御した。本研究は工学院大学倫理委員会の承認を受けて実施した。被験者には事前に十分な説明を行い、書面によるインフォームドコンセントを得た。

被験者は振動刺激から得られる傾斜角の情報のみを用いて、モデルの入力を操作し倒立振り子モデルを50秒間保持する課題を行った。これを1セットとし1人5セットを行い、成功回数を調べた[7-8]。

また、習熟度の影響を調べるために、5人の被験者について、同じ実験を3日間繰り返した[9-10]。



(a) モード 1



(b) モード 2

図 4 モデル入力と身体傾斜角の推移

4. 研究成果

姿勢保持に成功した際の典型的な入力と傾斜角の推移を図 4 に示す。同図(a)がモード 1、(b)がモード 2 の結果である。傾斜角の変化する範囲はモード 2 で大きく、それともなると入力も大きく変化していることがわかる。

10 人の被験者において、成功した試行の身体傾斜角の標準偏差を求めた。その結果をまとめたのが表 1 である。モード 1 のほうが標準偏差が小さいことがわかる。これは、モード 1 を用いたほうが、倒立振り子モデルの動揺が少ないことを意味しており、モードの設計時に期待していたことと異なっている[7-8]。

より安定に立位保持ができると期待したモード 2 の結果が思わしくなかった。より多くの情報を有効に利用するには、単純なフィードバックよりも高度な操作が要求される可能性がある。

そこで、モード 2 を使いこなすためには操作の習熟が必要であると仮定して、操作の習熟度の影響を評価するために同様な実験を 3 日間繰り返した。

結果を表 2 に示す。モード 1、モード 2 とも日ごとに、傾斜角の標準偏差が小さくなっている。これは、習熟度が上がっていることを示唆している。しかし、3 日目 (d3) においても、モード 1 のほうが標準偏差が小さく、より安定に制御できていることがわかる[9-10]。

表 1 身体傾斜角の標準偏差。

被験者	モード 1 (°)	モード 2 (°)
#1	5.55	4.23
#2	4.38	3.42
#3	2.86	3.42
#4	2.58	9.27
#5	2.39	6.60
#6	4.97	7.43
#7	3.07	5.96
#8	3.11	6.96
#9	6.79	9.08
#10	3.62	7.34
平均	3.93 ± 1.45	6.37 ± 2.12

表 2 習熟度の標準偏差への影響

被験者	モード 1 (°)			モード 2 (°)		
	d1	d2	d3	d1	d2	d3
#1	6.84	6.44	5.23	7.52	5.94	5.98
#2	7.32	5.06	5.69	7.07	6.96	6.68
#3	-	8.34	5.32	-	8.03	7.12
#4	7.06	3.69	4.93	-	5.80	4.64
#5	4.69	5.07	4.62	7.07	5.82	5.66
平均	6.48 ± 1.21	5.72 ± 1.76	5.16 ± 0.40	7.22 ± 0.26	6.51 ± 0.98	6.02 ± 0.96

d1 : day 1 d2 : day 2 d3 : day 3

モード 1、モード 2 の間で d1 と d2 の差を比べると、前者は 0.76°、後者は 0.71°である。d2 と d3 については、0.57°と 0.49°である。いずれもモード 2 のほうが小さく、このまま繰り返しても標準偏差が逆転する可能性は低いものと判断される。

したがって、習熟度が上がるとモード 2 のほうが安定化しやすいとの仮説は誤りである可能性が高い。したがって、モード 2 のほうが不安定になる理由は別のところにあると考えるのが妥当である。

そこで、モード 2 におけるモータ 1 の駆動信号を調べた。その結果、身体傾斜角の変化に応じて矩形波の周波数およびデューティ比は変わっているものの、オフ (電圧 0 V) の区間から刺激が始まる場合があることが明らかになった[10]。振動刺激モードの設計時には、図 3 のように時間の要素を考慮していない。しかし、現実の振動刺激においては、時間の要素が大切であることを示す結果である。今後、振動刺激モードの設計法を見直

し、時間を考慮する必要がある。

<引用文献>

- [1] Fukuoka Y: Dynamic properties of sensory feedback systems in human upright posture control, International Conference on Simulation Technology, Paper ID 41: 1-2, 2013.
- [2] Fukuoka Y *et al.*: Characteristics of visual feedback in postural control during standing, IEEE Trans Rehab Eng, 7, 427-434, 1999.
- [3] Tsutsumi T *et al.*: Postural stability during visual stimulation and the contribution from the vestibular apparatus, Acta Oto-Laryngologica, 130, 464-471, 2010.
- [4] Chiang B *et al.*: Design and performance of a multichannel vestibular prosthesis that restores semicircular canal sensation in rhesus monkey, IEEE Trans Neural Sys Rehab Eng, 19, 588-598, 2011.
- [5] Wall C *et al.*: Balance prosthesis based on micromechanical sensors using vibrotactile feedback of tilt, IEEE Trans Biomed Eng, 48, 1153-1161, 2001.
- [6] 山本哲正ほか：腹部への振動触覚刺激による方位の情報の知覚特性、信学技法 WIT2001-47、2002.
- [7] 福元優太郎、福岡 豊：体性感覚フィードバックによるバランスアシスト装置の身体モデルを用いた基礎研究、電子情報通信学会 2016 年総合大会、福岡、2016.
- [8] Yutaro Fukumoto, Yutaka Fukuoka: A feasibility study on a balance assist device with vibrotactile feedback using an equivalent body model, IEEE EMBC 2016, FrCT10.25, Orlando, FL, USA, 2016.
- [9] 福岡 豊、野澤達彌：バランスアシスト装置のための体性感覚フィードバック法の等価身体モデルを用いた基礎研究、第 60 回自動制御連合講演会、東京、2017 .
- [10] Yutaka Fukuoka, Tatsuya Nozawa, Yosuke Fukuda: Information encoding methods for a balance assist device using vibrotactile feedback, Proceedings of IEEE EMBC 2018.

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 1 件)

- [1] Yutaka Fukuoka, Tatsuya Nozawa, Yosuke Fukuda: Information encoding methods for a balance assist device using vibrotactile feedback, Proceedings of IEEE EMBC 2018, (To be published).

[学会発表] (計 3 件)

- [1] 福岡 豊、野澤達彌：バランスアシスト装置のための体性感覚フィードバック法の等価身体モデルを用いた基礎研究、第 60 回

自動制御連合講演会、東京、2017 .

- [2] Yutaro Fukumoto, Yutaka Fukuoka: A feasibility study on a balance assist device with vibrotactile feedback using an equivalent body model, IEEE EMBC 2016, FrCT10.25, Orlando, FL, USA, 2016.
- [3] 福元優太郎、福岡 豊：体性感覚フィードバックによるバランスアシスト装置の身体モデルを用いた基礎研究、電子情報通信学会 2016 年総合大会、福岡、2016.

[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
ヒトの姿勢制御系
<http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wwc1059/posture.html>

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

福岡 豊 (Yutaka Fukuoka)
工学院大学・工学部・教授
研究者番号：30242217

(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

()