

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：13301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650365

研究課題名(和文) 座位から立位への姿勢変換における感覚参照枠再構成の時期と各種感覚情報の役割

研究課題名(英文) Investigation of reconstitution timing of sensory reference frame during sit-to-stand using various sensory stimuli

研究代表者

藤原 勝夫 (Fujiwara, Katsuo)

金沢大学・医学系・教授

研究者番号：60190089

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：安静立位時の感覚刺激(下腿三頭筋と中足骨骨頭部足底への振動刺激、前庭刺激および視覚刺激)において、外乱とは逆方向への姿勢応答が生じる刺激を、立ち上がり動作の種々の相で加え、以下の知見を得た。1) 動作開始前までの刺激により立ち上がり後に安静立位時とは逆方向への応答が生じ、運動終了時点での感覚情報が予測され、運動開始前に感覚参照枠の再構成がなされる。それは下腿三頭筋への刺激で顕著であった。2) 立ち上がり動作中の感覚情報の使い方は感覚刺激間で異なった。3) 立ち上がり到達時点の知覚とその後の位置知覚に使用される感覚情報があり、その使用の仕方に大きな個人差が認められた。

研究成果の概要(英文)：Four kinds of sensory stimulation (vibration to the triceps surae and forefoot, vestibular, and vision), which induce postural responses contralateral to the disturbance while quiet standing, were applied in various phases while sit-to-standing. The following findings were obtained. 1) In the stimulation until the start of sit-to-standing, postural responses contralateral to the postural responses induced by the stimulation during quiet standing were evoked. This suggests to anticipate the aimed standing point before the start of sit-to-stand and to recompose the sensory reference frame at the standing point. This phenomenon was most clear in the vibration to the triceps surae. 2) The way to use the sensory information during the stand-up action is different in each sensory stimulus. 3) There are two kinds of the sensory information used for the perception of the reaching to the standing point and the positional perception after the reaching, observing the large individual differences.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・身体教育学

キーワード：姿勢制御 感覚参照枠 立ち上がり動作 足底振動刺激 アキレス腱振動刺激 ガルバニック刺激 視覚刺激 姿勢応答

1. 研究開始当初の背景

感覚参照系が存在する証拠として、安静立位姿勢保持時にそれらの感覚刺激が負荷された場合に、外乱されたと知覚された方向とは逆方向への姿勢応答が生じることがあげられる(筋感覚刺激:Roll et al. 1993, Fujiwara et al. 2003; 足底部圧刺激:Fujiwara et al. 1992, Kavounoudias et al.1998; 前庭刺激:Tardy-Gervet et al. 1998; 視覚刺激:Isableu et al. 1997)。この現象は、立位姿勢の既存の感覚参照枠を基に、負荷された感覚情報と予測された感覚情報とが比較され(Schmidt, 1976)、錯覚された身体傾斜を元に戻すような姿勢応答が生じたことを示している。姿勢変換によって目的とした姿勢を保持した場合、その姿勢保持時の感覚情報をチェックする必要がある。そのために、目的とした姿勢を保持した時点で発生する感覚情報が姿勢変換終了前にすでに予測され、その感覚情報と実際の感覚情報とが比較されるのであろう。しかし、姿勢変換運動時の感覚参照枠の再構成における各感覚情報の役割とその感覚参照枠再構成のタイミングについては、十分な検討がなされていない。

2. 研究の目的

急速な姿勢変換運動において、あらかじめ運動終了時点での感覚情報が予測され、運動開始前に感覚参照枠の再構成がなされると考えられる。椅座位から立位へ姿勢を変換する運動においても、運動開始に先立って感覚参照枠が再構成されると考えられる。立位姿勢保持時と立位への姿勢変換開始前では、感覚刺激の負荷による立位姿勢の傾斜方向が逆転する。この現象を適用し、感覚参照枠再構成の有無とそのタイミングを明らかにするために、椅座位から立位への急速姿勢変換時の各時相で、次の感覚刺激を負荷し、姿勢変換後の身体動揺の様相を把握し、かつ姿勢変換に向けた脳内準備過程を事象関連脳電位(随伴陰性変動(CNV))を用いて評価する: アキレス腱振動刺激、足底前足部圧刺激、前庭電気刺激、縦縞模様視覚刺激。さらに、立ち上がり動作の各時点における感覚情報の使い方について、感覚情報モダリティと個人差を明らかにする。

3. 研究の方法

実験は、以下の3つからなる。

(1) 安静立位においてアキレス腱と足底前足部へ種々の周波数の振動刺激を負荷し、感覚刺激強度の違いによる姿勢応答の違いについて検討した。

振動刺激の振幅を 0.5 mm とし、周波数を 1Hz から 60Hz の範囲で変化させた。さらに、アキレス腱と足底前足部へ前傾応答が生じる比較的低い周波数刺激を同時に負荷し、振動刺激が安静立位姿勢の調節に及ぼす影響を検討した。

(2) 椅座位から立位への姿勢変換時の感覚参照枠再構成における、下腿三頭筋の筋感覚情報、中足骨骨頭部の足底圧情報、前庭情報および視覚情報の役割を検討した。

筋感覚および足底圧感覚刺激として、アキレス腱および中足骨骨頭部底に、安静立位で負荷した場合に後傾応答が生じる比較的高い周波数の振動刺激(100Hz)を負荷した。前庭刺激として閾値+0.3mAの定電流を、視覚刺激として白黒の視角2度の縦縞模様の30度傾斜刺激を用いた。両感覚刺激を安静立位で負荷すると、側方傾斜応答が生じる。

被験者は目を閉じ、聴覚予告信号(S1)の2秒後の聴覚反応信号(S2)に反応して、安静立位に向けて椅座位からの立ち上がり動作を行った(図1)。動作時の以下のタイミングで刺激を負荷した: 椅座位から立ち上がり動作開始まで、椅座位から立ち上がり到達時点まで、立ち上がり到達後。(図2)

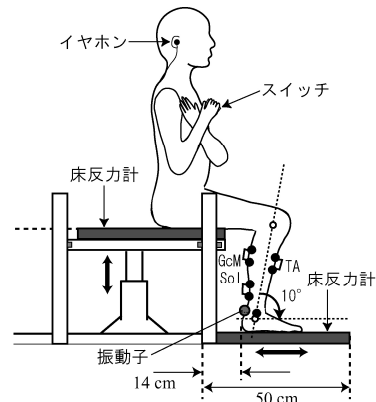


図1 実験セットアップ(Kurokawa et al., 2013 一部改変)

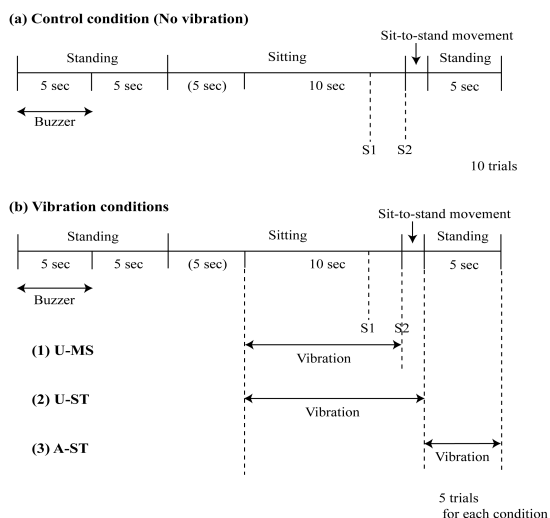


図2 実験プロトコル(Kurokawa et al., 2013) U-MS: 椅座位から立ち上がり動作開始まで刺激、U-ST: 椅座位から立ち上がり到達時点まで刺激、A-ST: 立ち上がり到達後に刺激。

(3) 立ち上がり到達時点における下腿三頭筋の筋感覚情報と足底圧情報の役割について検討した。

(2)と同様の立ち上がり動作課題および振動刺激を用いた。振動刺激は、立ち上がり到達時点の350ms前～250ms後のランダムなタイミングで負荷した。

(1)～(3)の実験において、動作終了後の立位における姿勢応答の方向および開始時間を、床反力計から得られた前後方向（アキレス腱・足底部への振動刺激）ないし左右方向（前庭・視覚刺激）の足圧中心動揺と垂直方向の力、および下腿筋の筋電図を用いて分析した。(1)(2)は主に姿勢応答の方向について、(3)は主に姿勢応答の開始時間に焦点を当てた。さらに(2)では、Czより導出した脳波を加算し、S1-S2間の随伴陰性変動（CNV）を測定した。

4. 研究成果

(1) アキレス腱および足底前足部いずれの部位への振動刺激においても、比較的高い周波数では後傾が生じ、低い周波数では前傾が生じた。さらに、両部位に低周波数刺激を同時に加えた場合には、姿勢応答が生じなかった。高周波振動刺激に対する姿勢応答は補償応答であるのに対し、低周波数に対する姿勢応答は、両部位からの感覚情報が比較され、マッチングして生じると考えられ、安静立位姿勢におけるサーボ機構の存在が示唆された。

(2) アキレス腱および足底前足部への振動刺激、および前庭刺激では、立ち上がり到達後に刺激を負荷した場合には安静立位での刺激時と同様の姿勢応答が生じ、立ち上がり動作開始まで負荷した場合には、立ち上がり到達後に、安静立位での応答とは逆方向への姿勢応答が生じた（図3）。この姿勢応答は、立ち上がり後約1秒で生じた。CNVは、予告信号（S1）から立ち上がり動作開始信号（S2）に向けて増大し、ピークに達した。これは、立ち上がり動作開始までに、立位位置知覚の感覚参照枠が再構成・準備され、それをもとに立ち上がり後の立位位置知覚がなされることを示唆していると考えられる。その再構成は、比較的上位の中枢を介してなされると推察される。視覚刺激では、姿勢応答に大きな個人差が認められ、立ち上がり動作の全ての時相に渡って継続してその感覚情報が用いられていると考えられた。さらに、立位到達時点でのこれらの感覚情報の用い方に、刺激間および個体間の差異があることが示唆された。

(3) アキレス腱、足底前足部振動刺激のいずれか一方、ないし両方で、立ち上がり到達時点の約200ms前～50ms後の間で振動刺激を開始した場合に、他の開始時点と比較して、振

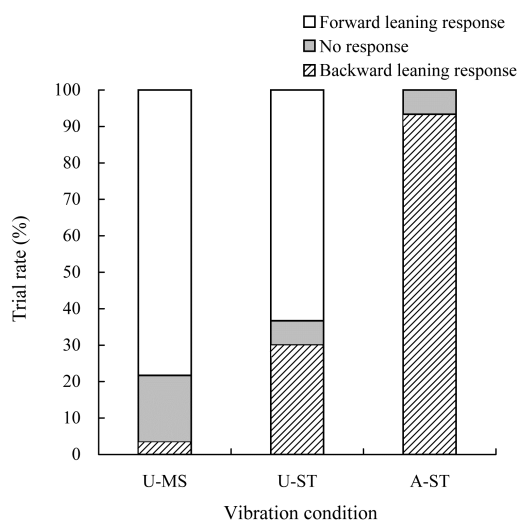
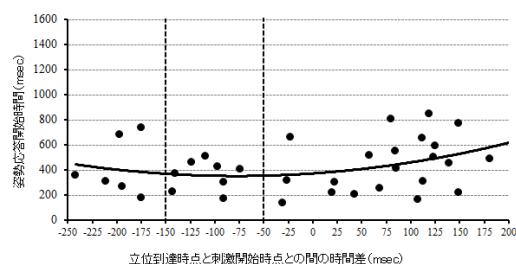


図3 立ち上がり動作の各時相でのアキレス腱振動刺激による立位後の姿勢応答方向 (Kurokawa et al., 2013)

安静立位での刺激では、全被験者に後傾応答が認められた。

動刺激に対する後傾応答の潜時が短くなった（図4）。この様相には、大きな個体差が認められた（被験者数：足底圧情報 69%、筋感覚情報 46%、両感覚情報 15%）。平均潜時は463ms (SD=101ms)であり、安静立位での刺激時の応答潜時（約1100ms）からの短縮値は約660msであった。この結果は、立ち上がり到達時点の知覚とその後の位置知覚に使用される感覚情報があることを示唆していると考えられた。立ち上がり動作到達時点の知覚に用いる感覚情報に大きな個人差が存在しているものと考えられた。

足底前足部振動刺激



アキレス腱振動刺激

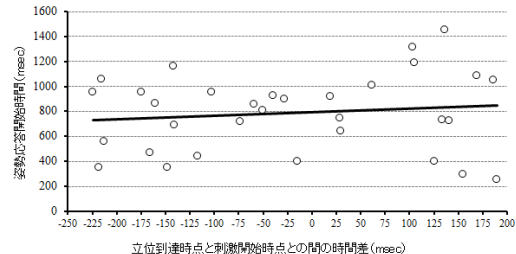


図4 立位到達前後の種々のタイミングでの振動刺激に対する姿勢応答開始時間（被験者1名のデータ）。

上段：足底前足部振動刺激、下段：アキレス腱振動刺激。

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7件)

Katsuo Fujiwara and Chie Yaguchi, Effects of limiting anterior displacement of the center of foot pressure on anticipatory postural control during bilateral shoulder flexion, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(6):1460-1466, 2013 (査読有)

Nozomi Kurokawa, Katsuo Fujiwara and Naoe Kiyota, Postural response accompanying Achilles tendon vibration stimulation during various phases of sit-to stand movement, *Perception*, 42: 778-789, 2013 (査読有)

Mariko Irei and Katsuo Fujiwara, Weighting to visual information provided at the various floor oscillation timings while standing, *Health and Behavior Sciences*, 11(2): 81-90, 2013 (査読有)

Katsuo Fujiwara, Kenji Kunita, Naoe Kiyota, Aida Mammadova and Mariko Irei, The effects of neck flexion on cerebral potentials evoked by visual, auditory and somatosensory stimuli and focal brain blood flow in related sensory cortices. *J Physiol Anthropol.* 31(31), DOI: 10.1186/1880-6805-31-31, 2012 (査読有)

Katsuo Fujiwara, Kaoru Maeda, Mariko Irei, Aida Mammadova and Naoe Kiyota, Changes in event-related potentials associated with postural adaptation during floor oscillation, *Neuroscience*, 213: 122-132, 2012 (査読有)

Chie Yaguchi and Katsuo Fujiwara, Effects of attentional dispersion on sensory-motor processing of anticipatory postural control during unilateral arm adduction, *Clinical Neurophysiology*, 123: 1361-1370, 2012 (査読有)

Jesse V. Jacobs, Chie Yaguchi, Chizuru Kaida, Mariko Irei, Masami Naka, Sharon M. Henry and Katsuo Fujiwara, Effects of experimentally induced low back pain on the sit-to-stand movement and electroencephalographic contingent negative variation, *Experimental Brain Research*, 215: 123-134, 2011 (査読有)

[学会発表](計23件)

Mariko Irei and Katsuo Fujiwara, Weighting to visual information provided at the various floor oscillation timing while standing, *Society for Neuroscience 43th Annual Meeting*, 2013.11.13, San Diego, USA

黒川望、藤原勝夫、清田直恵、立ち上がり動作の各相にアキレス腱への振動刺激を負荷した場合の姿勢応答、*日本健康行動科学会第12回学術大会*、2013.9.28、札幌、日本

中正美、藤原勝夫、足底圧感覚刺激と下腿筋感覚刺激による身体傾斜応答、*日本健康行動科学会第12回学術大会*、2013.9.28、札幌、日本

矢口智恵、藤原勝夫、注意分散の増大が一側上肢外転運動時の予測的姿勢制御に及ぼす影響、*日本健康行動科学会第12回学術大会*、2013.9.28、札幌、日本

Katsuo Fujiwara, Effects of low back pain on lumber movement and contingent negative variation during sit-to-stand, *Program 2nd Joint World Congress, ISPGR/Gait and Mental Function (招待講演)*, 2013.6.26, Akita, Japan

Katsuo Fujiwara, Effects of limiting anterior displacement of the center of foot pressure on anticipatory postural control during bilateral arm flexion, *Program 2nd Joint World Congress, ISPGR/Gait and Mental Function*, 2013.6.25, Akita, Japan

Koji Anan and Katsuo Fujiwara, Effects of difference of inter-stimulus interval in a visuo-spatial cueing task on anticipatory postural control and event-related potentials during unilateral arm abduction while standing, *Society for Neuroscience 42th Annual meeting*, 2012.10.14, New Orleans, USA

藤原勝夫、前田薫、伊禮まり子、Aida Mammadova、清田直恵、事象関連脳電位による運動時の注意配分の測定、*第47回人類働態学会全国大会(招待講演)*、2012.6.17、所沢、日本

浅井仁、藤原勝夫、後傾時の膝蓋骨の移動と立位位置知覚、*日本生理人類学会姿勢研究部会第4回研究会*、2011.7.9、札幌、日本

中正美、藤原勝夫、浅井仁、足底前足部へのせん断刺激に対する姿勢応答特性、*日本生理人類学会姿勢研究部会第4回研究会*、2011.7.9、札幌、日本

国田賢治、藤原勝夫、清田直恵、清田岳臣、阿南浩司、頸部前屈保持に伴うアンチサッカー反応時間短縮の処理過程の経頭蓋磁気刺激干渉法による検討、*日本生理人類学会姿勢研究部会第4回研究会*、2011.7.9、札幌、日本

[図書](計2件)

藤原勝夫他、朝倉書店、福祉技術ハンドブック 1.7 姿勢系、2013、506、(78-83)

藤原勝夫編著、杏林書院、姿勢制御の神経生理機構、2011、258

[産業財産権]

取得状況(計2件)

名称：覚醒維持装置
発明者：濱口 剛、重藤和英、藤原勝夫
権利者：国立大学法人金沢大学
種類：特許
番号：特許第 5234638 号
取得年月日：25年4月5日
国内外の別：国内

名称：立位姿勢規定器具
発明者：藤原 勝夫
権利者：国立大学法人金沢大学
種類：特許
番号：特許第 5004174 号
取得年月日：24年6月1日
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤原 勝夫 (FUJIWARA, Katsuo)
金沢大学・医学系・教授
研究者番号：60190089

(2) 研究分担者

浅井 仁 (ASAI, Hitoshi)
金沢大学・保健学系・教授
研究者番号：50167871

外山 寛 (TOYAMA, Hiroshi)
金沢大学・医学系・准教授
研究者番号：10172206

前田 薫 (MAEDA, Kaoru)
森ノ宮医療大学・保健医療学部・准教授
研究者番号：00454687

清田 岳臣 (KIYOTA, Takeo)
札幌国際大学・人文学部・准教授
研究者番号：40434956

(3) 協力研究者

清田 直恵 (KIYOTA, Naoe)
大阪保健医療大学・保健医療学部・講師
研究者番号：90559189

矢口 智恵 (YAGUCHI, Chie)
北海道文教大学・人間科学部・助教
研究者番号：612300

黒川 望 (KUROKAWA, Nozomi)
群馬パーズ大学・保健科学部・助教
研究者番号：60587674

Horak FB
米国 オレゴン健康科学大学

Prokopenko S
ロシア クラスノヤルスク大学

Jacobs JV
米国 バーモント大学

開田 千鶴 (KAIDA, Chizuru)
森ノ宮医療大学・保健医療学部・講師
研究者番号：50637030

伊禮 まり子 (IREI, Mariko)
大阪保健医療大学・保健医療学部・助教
研究者番号：30711311

中 正美 (NAKA, Masami)
森ノ宮医療大学・保健医療学部・助教
研究者番号：90636383