

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：33305

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560324

研究課題名(和文) 足・膝・股関節の周囲の皮膚伸張刺激に伴う立位姿勢応答

研究課題名(英文) Postural responses to skin stretch stimuli around the hip, knee and ankle during quiet standing

研究代表者

藤原 勝夫 (FUJIWARA, Katsuo)

金沢学院大学・人間健康学部・教授

研究者番号：60190089

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：トレッドミル歩行時の膝関節周りの皮膚移動距離は約3mm/10mmであり、平均移動速度は約10mm/sであった。この値を用いて皮膚伸張刺激による姿勢応答について検討した。膝関節周りへの刺激では大腿直筋の筋腱移行部付近で姿勢応答が顕著に生じ、前・後傾の応答の割合が6：4であった。筋腱移行部で圧力を変えて刺激したところ、25gを境に、それ以下では前傾応答が、それ以上では後傾応答が多く生じた。足・膝・股関節の前・後面の皮膚伸張刺激を組み合わせた場合、いずれの関節においても、明確な姿勢応答が生じた。特に、膝関節と足関節への伸張刺激で、より明確に前傾応答が生じることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In a cycle of treadmill walking, the displacement range and speed of skin around the knee joint were about 3 mm / 10 mm and 10 mm / s. Therefore, we investigated postural responses to skin stretch stimuli, applying these values as stimulation intensity. For the stimulation to various positions around the knee, postural response was most frequently observed at the myotendinous junction of the rectus femoris (RF), and the ratio of forward leaning response to backward was six to four. For the stimulation at this position with various pressure, forward and backward leaning responses were mainly induced with lower and higher pressure than 25 g, respectively. For the simultaneous stimulation to the front and back of the hip, knee or ankle, clear postural response was observed in any joint. The simultaneous stimulation to the front of the knee and ankle induced forward leaning response more clearly.

研究分野：運動生理学

キーワード：感覚参照系 皮膚伸張刺激 姿勢応答 足関節 膝関節 股関節

1. 研究開始当初の背景

立位位置の知覚は、筋紡錘、関節受容器、足底の機械的受容器、前庭および眼からの感覚情報を統合・処理することによってなされる(Massion, 1992)。この処理過程での脊髄より上位に位置する感覚参照系の重要性が指摘されてきた(Gurfinkel and Levic, 1991)。これは、閉眼立位において、アキレス腱(Eklund et al., 1972)や足底前足部(Kavounoudias et al., 1998)へ振動刺激を负荷した場合に、反射よりも長い潜時で後傾応答が生じるという現象に基づいている。この後傾応答は、立位にて身体を支柱に固定して同刺激を负荷した場合に、身体が前傾したという錯覚が生じるが、そのような錯覚に基づく補償応答であると考えられている(Fujiwara et al., 2003)。その他の感覚情報についても、感覚参照系を介して統合・処理されることが証明されてきた(Ferrell et al., 1987; Grasso et al., 1999)。著者らは、予備実験において、閉眼にて下肢の各関節(足関節、膝関節、股関節)周りの皮膚を伸張した場合に、大きな姿勢応答が生じることを観察した。Collins et al.(2005)は、座位での大腿部の皮膚の伸張刺激によって、振動刺激よりは若干弱い、膝関節の運動錯覚が生じることを報告した。このことと関連して、筋感覚情報の関節運動に対する貢献を検討する場合には、皮膚に麻酔をかけることが多くなされてきた(Goodwin et al., 1972)。報告によっては、筋感覚よりも皮膚の伸張状態が関節運動の感覚に大きく寄与していると推察されている(Merton, 1964; Browne et al., 1967; Macefield et al., 1990)。しかし、足・膝・股関節の各関節周りの皮膚の伸張刺激が、立位位置の知覚にどのような影響を及ぼすかについては検討されていない。

2. 研究の目的

立位姿勢制御における皮膚感覚情報の役割について究明するために、次の3項目に分けて、足・膝・股関節の各関節周りの皮膚の伸張刺激に伴う立位姿勢応答について検討する。トレッドミル歩行時の膝関節周りの皮膚移動距離と速度についての検討。膝関節周りの皮膚刺激の部位による姿勢応答の違いについての検討。圧力を変えて伸張刺激を负荷した時の姿勢応答についての検討。各関節周りの皮膚伸張刺激を組み合わせた(シナジー)場合の姿勢応答についての検討。では、皮膚上にマークを施し皮膚の動きについて3次元計測を行う。その結果に基づいて、では、膝関節周りの皮膚について、刺激部位を変えて皮膚伸張刺激を加え、姿勢応答の違いについて検討した。では皮膚に圧力をかけ、モーターで皮膚を伸張し、足圧中心の前後方向の動きで姿勢変化を評価する。では、姿勢変化の大きかった皮膚伸張刺激を組み合わせ、立位位置知覚に及ぼす感覚入力のシナジーを究明する。

3. 研究の方法

では、健康な若年成人9名を被験者とした。トレッドミル歩行時の身体各部位および膝関節上部の皮膚の動きを撮影するために、5台のデジタルカメラ(EX-F1, Casio computer, Japan)を用いた。デジタルカメラのフレーム速度は、300フレーム/秒とした。直径13mmの反射マーカー(ノビテック、日本)を左足の太転子、膝関節裂隙、外果、第5中足骨骨頭に取り付けた。また直径6.5mmの反射マーカーを大腿直筋の走行に沿って、膝蓋骨中央から大腿中央±2cmに達するまで3cm間隔で取り付けた。大腿中央は、大腿骨外側顆から太転子中央までの長さを二分する位置で、大腿直筋の筋腹上とした。

では、11名の健常成人に振幅10mmの皮膚伸張刺激を负荷したときに、3~5試行連続で姿勢応答が認められた10名を被験者とした。刺激部位は、次の様にして定めた。大腿直筋の筋腱移行部の高さは、膝蓋骨中央から 8.0 ± 0.8 cmであった。この筋腱移行部の高さとは大腿長の違いにより、被験者間で刺激部位の範囲が異なった。したがって、分析は全被験者で皮膚伸張刺激の負荷が可能であった範囲を対象とした。すなわち、筋腱移行部から7cm上までと大腿中央、筋腱移行部から6cm下まで、および膝蓋骨中央から6cm下までと脛骨粗面とした。

両側膝関節上部の皮膚を伸張するために、小型モーター部と可動部からなる超小型アクチュエーター(SA-16-R64, THK, 日本)を2つ用いた。モーター部は、幅8cmのバンド上に取り付け大腿に巻き、取り付け部位の皮膚感覚が生じないようにした。可動部は、プラスチック板(2cm×2cm)を介して、刺激部の皮膚上に取り付けた。皮膚に対する可動部の圧力は、小型の圧センサー(flexiforce sensors, texscan, USA)を用いて検出し、デジタルオシロスコープ(DS6612, 岩通, 日本)でモニターした。伸張刺激制御用ソフト(SEED EDITOR, THK, 日本)を用い、可動部を振幅1cm、速度1cm/secで下方へ移動させた。この設定では、いずれの刺激部位への皮膚伸張でも、可動部下端から1cm下の皮膚の移動距離が 0.67 ± 0.13 cmであることを予備実験にて確認した。

では、17名を被験者とした。測定に先立ち、両側の大腿直筋の膝蓋腱への移行部上に、比較的強い圧力での皮膚伸張刺激を负荷した。はじめに、圧力200gで皮膚伸張刺激を负荷し、3試行連続で後傾応答が認められなければ、最大350gまで圧力を50g間隔で増し、後傾応答の有無を確認した。この比較的強い圧力での皮膚伸張刺激時に後傾応答が認められた最小の圧力を後傾応答出現圧力とした。

では、12名の健常若年成人を被験者とした。閉眼にて安静立位を保持した被験者に対し、電子モーターが付属された1対の小型手

ップ（初期間隔 10mm、各皮膚接触面積 10mm × 10mm）を 2 組用いて、下肢長軸方向への皮膚伸張刺激（振幅 3mm、持続時間 200ms）を両脚同時に負荷した。刺激部位は、股、膝、および足関節の前面・後面とし、1 か所への単独刺激と 2 か所への同時刺激を実施した。1 つの刺激条件につき 3 - 5 試行実施した。

からは、前後方向の足圧中心（CoPap）位置を測定するために、4 つのロードセルから成る床反力計（FPA34、エレクトロデザイン、日本）を用いた。

後の分析のために、全ての電気信号を、A/D 変換器（ADA16-32/2(CB)F, CONTEC, 日本）を介して、16 bit の分解能でサンプリング周波数 1000 Hz にて、コンピュータ（Dimension E521, Dell Japan, 日本）に送り、数値計算をおこなった。

4. 研究成果

トレッドミル歩行時の膝関節周りの皮膚移動距離と速度

トレッドミル歩行時の膝関節上部の皮膚移動距離の平均値および SD を図 1 に示す。皮膚移動距離は、膝蓋骨中央から 9cm を境に急激に減少していき、大腿中央の区間で最も移動距離が短かった。大腿直筋の筋腱移行部は、膝蓋骨中央から 8.7 ± 1.4 cm の距離にあり、6 - 9 cm の区間にあった。反射マーカ-2 点間（3 cm）の移動距離は、膝蓋骨中央から 3 - 6cm の区間で 2.94 ± 0.78 mm / 10 mm（平均値 ± SD）であり、6 - 9 cm の区間で 2.69 ± 0.67 mm / 10 mm であった。移動距離は、9 - 12cm と 12 - 15cm の区間および大腿中央の区間と比較して、3 - 6cm および 6 - 9 cm の区間で、有意に長かった（ $p < 0.001$ ）。皮膚の平均移動速度は、 9.4 ± 1.8 mm / sec であり、最大速度は、 16.1 ± 4.9 mm / sec であった。

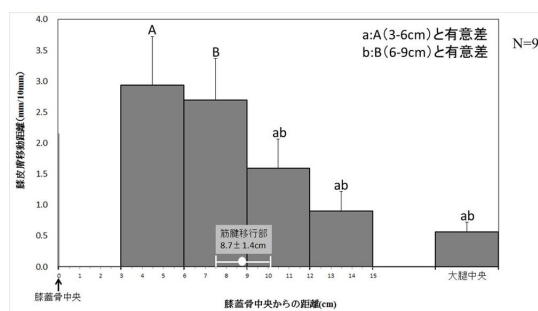


図 1：トレッドミル歩行における膝関節上部の皮膚変化（移動距離）

膝関節周りの皮膚刺激の部位による姿勢応答の違い

筋腱移行部付近への皮膚伸張刺激では、姿勢応答が出現する割合が最も高かった（85.0%）。また、刺激部位を膝蓋骨中央および大腿中央に向けて移行していったとき、姿勢応答の割合は減少した（図 2）。筋腱移行部に皮膚伸張刺激を負荷した時の姿勢応答の

出現率は、膝蓋骨中央、大腿中央および脛骨粗面での姿勢応答の出現率と比較して有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。姿勢応答が出現する割合は、膝蓋骨中央から下方へ向けて若干の増加傾向が認められたが有意差は認められなかった。

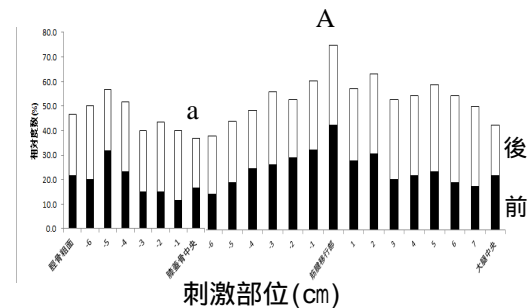


図 2 刺激部位を変えて伸張刺激を負荷した時の姿勢応答。a: A（筋腱移行部）と有意差

圧力を変えて伸張刺激を負荷した時の姿勢応答について

17 名の被験者のうち、後傾応答が認められ始めた圧力は、200g が 12 名、250・300g が各 2 名、350g が 1 名であった。200g 以上の圧力で後傾応答が認められ始めた 5 名中 4 名は、後傾が認められ始めた圧力よりも 25g 少ない圧力で、明確な前傾応答が認められ始めた。圧力が 200g 以下で、前傾応答が認められた試行数の割合は、圧力の減少に伴い増加し、0g では 58.8%（10 名）であった（図*）。他の 7 名には、前傾応答が認められず、0g では 41.2% が後傾応答であった。0g での各姿勢応答の出現試行数の分布は、他の圧力の分布と有意に異なっていた（ $\chi^2 > 11.2$, $p < 0.01$ ）。さらに、0、25 および 50g での姿勢応答出現試行数の分布は、強い圧力で仮定される姿勢応答の分布と有意に異なっていた（ $\chi^2 > 6.35$, $p < 0.05$ ）。

前傾と後傾の両方の姿勢応答が認められた被験者の開始潜時は、前傾応答が 2.5 ± 1.4 秒、後傾応答が 2.1 ± 0.8 秒であり、両者の間には有意差が認められなかった。

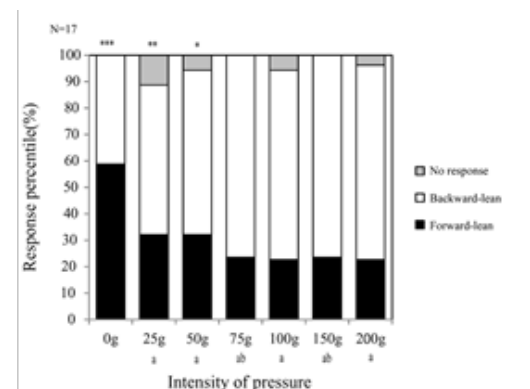


図 3 圧力の変化による姿勢応答出現率の変化。a、b はそれぞれ、0 g・25 g での姿勢応答分布との有意差を示す。

各関節周りの皮膚伸張刺激を組み合わせた場合の姿勢応答

単独刺激において、全ての部位のほとんどの試行で姿勢応答が認められた(図4)。前面への刺激では、膝関節および足関節において、前傾応答が後傾応答に比べて有意に多かった。後面への刺激では、足関節において、後傾応答が多い傾向にあった。股関節ないし膝関節の前・後面同時刺激時の姿勢応答は、前傾応答が後傾応答に比べて有意に多く、これらの応答は各関節における前面単独刺激時の応答方向と一致する試行が有意に多かった(図5)。足関節の前・後面同時刺激時の姿勢応答は、有意な応答方向が認められなかったが、前面単独刺激時の応答方向と一致し、後面単独刺激時の応答方向とは一致しない試行が多い傾向にあった。膝関節・足関節の前面同時刺激時の姿勢応答は、前傾応答が後傾応答に比べて有意に多く、いずれの部位の単独刺激時の応答方向とも有意に一致した。膝関節前面・足関節後面同時刺激時の姿勢応答は、前傾応答が後傾応答に比べて有意に多く、膝前面単独刺激時の応答方向と一致する試行が有意に多かった。

以上の結果から、下肢の関節周囲の皮膚伸張刺激は、立位姿勢保持にとって重要な感覚情報であると考えられた。各関節の前面、特に膝関節および足関節の皮膚伸張刺激がより重要であり、それらは身体後傾の情報として知覚されるものと考えられた。

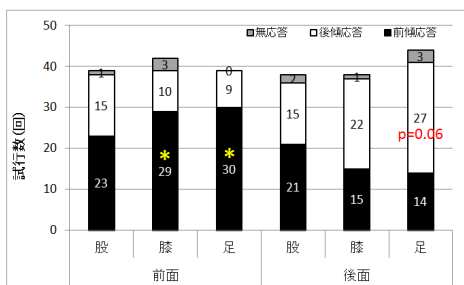


図4 下肢関節周囲への皮膚伸張単独刺激時の姿勢応答試行と被験者数

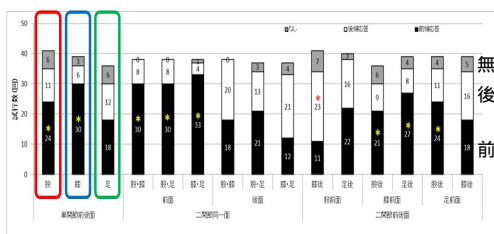


図5 2か所の同時刺激時の姿勢応答試行と被験者数

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 9件)

伊禮まり子、藤原勝夫、矢口智恵、清田直恵：感覚誘発電位および事象関連電位の記録方法．Health and Behavior Sciences, 15(2): 75-81, 2017. 査読有

兵頭 彩、藤原勝夫、清田直恵、外山 寛：高齢者における最前傾・後傾の運動様式．Health and Behavior Sciences, 15(2): 69-73, 2017. 査読有

Fujita K, Kabata T, Kajino Y, Iwai S, Kuroda K, Hasegawa K, Fujiwara K, Tsuchiya H. Quantitative analysis of the Trendelenburg test and invention of a modified method. J Orthop Sci. 2016 Oct 9. pii: S0949-2658(16)30175-0, 2016. 査読有

DOI: 10.1016/j.jos.2016.09.007.

Fujiwara K, Irei M, Kiyota N, Yaguchi C, Maeda K.: Event-related brain potential and postural muscle activity during standing on an oscillating table while the knee, hip, and trunk are fixed. J Physiol Anthropol, Feb 18;35:6, 2016. 査読有

DOI: 10.1186/s40101-016-0088-4.

Lytnev V, Fujiwara K, Kiyota N, Irei M, Toyama H, Yaguchi C.: Postural control and contingent negative variation during transient floor translation while standing with the ankle fixed. J Physiol Anthropol. Jul 25;36(1):7, 2016. 査読有

DOI: 10.1186/s40101-016-0104-8.

国田賢治、藤原勝夫：頸部前屈保持に伴う記憶誘導性サッケード反応時間の短縮効果：前頭葉眼球運動領域への経頭蓋磁気刺激を用いた検討．Health and Behavior Sciences, 14(1): 7-15, 2015. 査読有

藤原勝夫：子どものからだ調整力．子どもと発育発達, 13(2): 99-103, 2015. 査読無

藤原勝夫、佐藤文亮、外山 寛、清田直恵、伊禮まり子、前川真姫、矢口智恵：砂浜および林間でのウォーキングエクササイズの運動学的および生理学的特性．Health and Behavior Sciences, 13(2): 7-15, 2015. 査読有

Naka M, Fujiwara K, Kiyota N.: Postural responses to various frequencies of vibration of the triceps surae and forefoot sole during quiet standing. Perception, 44: 39-51, 2014. 査読有

DOI: 10.1068/p7738

[学会発表](計 9件)

Fujiwara K, Sato F, Kiyota N, Toyama H, Nakamura T, Hyodo A: Postural responses to skin stretch stimulation around the leg joints during quiet standing. Society for Neuroscience, 2017年11月, Washington, DC (America)

佐藤文亮、藤原勝夫：膝関節上部皮膚への

各種振幅での伸張刺激時の姿勢応答．日本健康行動科学会第 15 回学術大会、2016 年 9 月 10 日、大阪市立大学（大阪市）

兵頭彩、藤原勝夫：高齢者における前・後傾時の足関節運動様式および位置知覚能のバランスボードトレーニング効果．日本健康行動科学会第 15 回学術大会、2016 年 9 月 10 日、大阪市立大学（大阪市）

Fujiwara K, Kiyota N, Toyama H, Hyodo A, Sato F: Training effect of position perceptibility in forward and backward leaning posture using balance-board for the elderly. Society for Neuroscience 2016, 2016 年 11 月 14 日, San Diego (America)

佐藤文亮、藤原勝夫：安静立位時の膝関節上部への皮膚伸張刺激時の姿勢応答．日本健康行動科学会第 14 回学術大会、2015 年 9 月 19 日、森ノ宮医療大学（大阪市）

Naka M, Fujiwara K, Kiyota N: Postural responses to various frequencies of vibration of the triceps surae and forefoot sole during quiet standing. Society for Neuroscience 2015, 2015 年 10 月 17 日, Chicago (America)

藤原勝夫：立位姿勢制御における感覚予測と注意機能．第 74 回日本めまい平衡医学会総会特別講演、2015 年 11 月 27 日、長良川国際会議場（岐阜市）

Kurokawa N, Fujiwara K, Kiyota N: Postural responses accompanying achilles tendon vibration stimulation during various phases of sit-to-stand movement. Society for Neuroscience 2014, 2014 年 11 月 15 日, Washington Convention D.C, (America)

中正美、藤原勝夫：立位位置の前方移動に伴う中足骨骨頭部下の足底圧分布と中足骨位置の変化．日本健康行動科学会第 13 回学術大会、2014 年 8 月 31 日、目白大学岩槻キャンパス（埼玉市）

〔図書〕(計 1 件)

藤原勝夫（分担執筆）：カラダの機能、日本生理人類学会（編），人間科学の百科事典．丸善出版（株），東京

〔産業財産権〕

出願状況（計 1 件）

名称：バランス及び歩行機能のトレーニング器具

発明者：藤原勝夫、プロコペンコ、セミヨン、ヴラジーミロヴィッチ、アプロシキナ、マリア ヴァシリエヴナ、オングール、ヴェーラ セミューノヴナ、ペトローバ、マリーナ ミハイロヴナ

権利者：国立大学法人金沢大学

種類：国際特許分類：A63B 23/00

番号：2014-239132

出願年月日：2014年11月26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）

金沢学院大学・人間健康学部・教授

研究者番号：60190089

(2)研究分担者

清田直恵（KIYOTA Naoe）

日本医療大学・保健医療学部・講師

研究者番号：90559189