

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 21 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500525

研究課題名（和文） 四肢の律動的協調運動における体幹筋群の機能的役割

研究課題名（英文） Functional role of trunk muscles during coordinated upper and lower limb movements

研究代表者

小宮山 伴与志（KOMIYAMA TOMOYOSHI）

千葉大学・教育学部・教授

研究者番号：70215408

研究成果の概要（和文）：本研究課題の目的は、ヒトにおける上肢と下肢による律動的な協調運動時における体幹筋群の機能的ならびに生理学的な役割を明らかにすることである。本研究により、異なる負荷と回転数による上・下肢による同時ペダリング運動時の体幹筋群活動を分析し、脊柱起立筋群(ES)と腹筋群(AB)の活動は、ペダリング負荷と回転数に依存して非直線的に増大することが明らかとなった。また、ES と AB の中潜時皮膚反射は座位状態に比して下肢ペダリングのパワー位相で強い促進を受けることが明らかになった。最後に、上・下肢ペダリング時の上肢-下肢相互作用は、1 から 4 週間の反復的なトレーニングによって漸減することが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：This research project was conducted with the aim of revealing the functional and physiological roles of trunk muscles during rhythmic arm and/or leg pedaling in humans. It was found that EMG activity of left and right erector spinae (ES) and abdominal muscles (AB) increased non-linearly with an increase in load and cadence. In addition, with regard to ES and AB muscles of the ipsilateral and contralateral sides, the magnitude of the cutaneous reflexes was strongly facilitated during the power phase compared to those obtained during a sitting position. Finally, we examined how the learning process modulates leg-to-arm interaction; this was characterized by a specific decrease in arm cadence when the leg pedaling was superimposed during arm pedaling. We found that the interaction gradually decreased within 1 to 4 weeks of repetitive training.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

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：運動制御、体幹筋群、上・下肢律動運動、トレーニング

1. 研究開始当初の背景

これまで申請者は、上肢と下肢による律動的なペダリング運動をモデルとして四肢の協調運動の調節機序について解明を進めるとともに、その学習効果と文脈依存性に関する

研究を進めてきた。しかしながら、上肢と下肢が円滑かつ効率的に動くために必要と考えられる体幹筋群の制御機序については未だに不明な点が多く残されている。ヒトが歩行などの移動行動を含め、四肢によ

る律動運動を行う際には上・下肢筋群だけではなく体幹筋群が重要な役割を果たす。体幹筋群は単に上肢と下肢を連結するだけではなく、捻り運動や前屈、後屈運動によって身体全体の安定性を保つと同時に効果的な上肢と骨盤の振り子運動を発現する役割を担っている。しかしながら、体幹筋群は四肢の筋とは異なり、単関節もしくは2関節で屈曲や伸展運動を再現する筋ではない。また、拮抗筋関係にあると考えられる腹筋群と背筋群間で相反性抑制が見られないことも知られている。さらに現在まで、移動行動や上下肢の律動運動時に見られる体幹筋群の活動がどのように制御されているかについては不明な点が多く、体育科学泰科学的な観点だけでなく、脊髄損傷患者に対するリハビリテーショントレーニングへの応用という観点からも解明すべき重要な研究課題であると考えられる。

2. 研究の目的

本申請研究では、申請者がこれまでに進めてきた研究方法を土台として、四肢の律動遂行時における体幹筋群の機能的役割と制御機構について解明することが目的である。研究を進めるに当たり下記の研究課題を設定した；

1. 上・下肢ペダリング遂行時の体幹筋群の活動動態の解明
2. 体幹筋群の律動的な活動の神経制御機構の解明
3. 体幹筋群のトレーニングによる上・下肢CPG間の干渉作用の変化の解明

3. 研究の方法

被験者：被験者は健康成人であり、全ての被験者より実験目的と方法を十分に説明し、実験参加の同意を得た。

運動課題：被験者は、独立した上・下肢用自転車エルゴメーター（クランク長 15 cm）を用いて上・下肢ペダリング運動を遂行するよう教示された。上肢のエルゴメーターの回転軸は被験者の肩の高さとし、クランクが時計盤の3時にあるとき被験者の肘関節が約30°屈曲するようにエルゴメーターの位置を調節した。下肢のエルゴメーターは、その回転軸が上肢のそれより約30 cm ほど後方となるようにした。クランクが6時の位置にあるとき、被験者の膝関節は約30°屈曲となるように接地した。上肢および下肢のエルゴメーター内部に取り付けられた光電管センサー（PS-102、ココリサーチ社）により、ペダリング運動1周につき8TTLパルスを記録し、ペダリングの速度を算出した。被験者には眼前2mに設置したモニターによりペダリングの速度を視覚的にフィードバックした。

筋電図記録：筋電図は左右の上腕および大腿屈筋、伸筋群、上部、下部腹直筋および脊柱起立筋上部、外腹斜筋から双極表面誘導法により導出し、A/D変換期を介してコンピュータに取り込み、Spike2（CED, UK）によって解析した。

皮膚反射記録：研究課題2の目標を達成するため、脊髄CPGの影響を強く受けることが知られている皮膚反射は足部領域の皮膚感覚神経を電気刺激(1ms 矩形波、333Hz すること

により左右の脊柱起立筋（ES）および腹筋（AB）より誘発した。

運動学習課題：研究課題3の目標を達成するため、被験者は週3-4回の頻度で上・下肢ペダリング運動の干渉効果に関するトレーニングを行った。上・下肢ペダリング運動の干渉効果とは、最初に上肢ペダリング運動を定常的に行わせ、次いで下肢のペダリング運動を開始させると、上肢のペダリング回転速度が急速に低下する現象である。被験者に、この運動課題を1-4週間にわたって行わせ、上・下肢緩衝効果がトレーニング前後でどのように変化したかについて分析を行った

4. 研究成果

【平成22年度の研究結果】

異なるペダリング負荷と回転数による上・下肢による同時ペダリング運動遂行時の体幹筋群活動の特徴を検討した。その結果、脊柱起立筋群(ES)と腹筋群(AB)の活動は、位相依存的に変化するとともに、その活動量はペダリング負荷と回転数に依存して非直線的に増大することが明らかとなった。これらの知見から、上・下肢による協調的なペダリング運動中に、体幹筋群は負荷及び回転数依存的に姿勢を維持する役割を果たしていることが示唆された。これまでに、律動的な上・下肢ペダリング運動時における体幹筋群の活動研究報告は国内外を見ても非常に少ない。加えて、この律動的な体幹筋群の筋活動と中枢パターン発振システムの関連は、運動神経生理学的に非常に興味深い検討課題である。この点を解明するために、中枢パターン発振システムの強い制御下にあると考えられる皮膚反射回路の特徴を明らかにすることが重要である。そこで、予備実験として、剤での性的筋収縮時、ならびに下肢ペダリング運動中に足部の腓腹神経を電気刺激することにより、ESとABから皮膚反射が誘発されるか否かについて検討を行った。その結果、座位安静時にはESとABから微細ながら反射応答が観察され、ペダリング時にその活動は増強するという知見を得ることができた。

【平成23年度の研究結果】

下肢ペダリング運動時における体幹筋群の律動的な活動が中枢パターン発振システムによって制御されているか否かを検討とするために、右腓腹神経に電技刺激を与え、皮膚反射を誘発し、その動態を観察した。運動課題遂行時におけるESとABの皮膚反射は、潜時80-120msに顕著に出現した。各ペダリング位相における皮膚反射の振幅を%EMG Maxで正規化し、処理した。ペダリング課題と静的な筋収縮課題を比較すると、静的な筋収縮課題に比してペダリング課題中の反射振幅が有意に大きかった（ESおよびAB、ともに $p<0.05$ ）。また、電気刺激をクランク位置12, 3, 6, 9時の各位相で与え、皮膚反射の運動位相依存性について検討したところ、中潜時皮膚反射はパワー位相で促進する傾向が見られた。また、静的な筋収縮課題中及びペダリング課題中における、皮膚反射の振幅と背景EMG量の間には、同側ABと対側ABにおいて有意な相関関係が認められた。本研究により、足部の皮膚神経に対する電気刺激により体幹筋に皮膚反射を誘発すること

が可能であることを確認できた。これまでに、皮膚反射は、背景 EMG 量に依存せず、運動課題や運動位相に依存するという特徴を持つことが報告されている (Komiya et al., 2000; Haridas and Zehr, 2003)。本研究でも、背景筋電図量が同一でも静的筋収縮時に比してペダリング運動時に皮膚反射の振幅は前者で有意に大きいことを確認した。したがって、体幹筋群を支配する運動ニューロンも下肢の中枢パターン発振システムの影響下にあることが本研究によって初めて明らかとなった。また、体幹筋群の皮膚反射は下肢ペダリング中に促通を受けたものの運動位相依存性が弱かったことから、中枢パターン発振システムは体幹筋群の皮膚反射のオフセットを上昇させていることを示唆する。これらの結果は、我々が既に報告した下肢ペダリング時における上肢皮膚反射の修飾動態と非常に類似しており、ヒトにおける中枢パターン発振システムから、遠隔筋を支配する運動ニューロンに対する制御機構の一般的な特徴を示す結果である可能性も考えられる (Sasada et al., 2010)。

【平成 24 年度の研究結果】

下肢-上肢間の相互作用に対する学習効果を検討するため、被験者は、1~4 週間にわたり週 3~4 回程度の頻度で上・下肢ペダリング運動の干渉効果に関するトレーニングを行った。被験者は、最初に上肢ペダリング運動を定常的に行い、次いで下肢のペダリング運動を上肢のペダリング回転速度を低下させないように開始するトレーニングを 1~4 週間にわたって行った。トレーニング前では、上肢ペダリングの定常運動は下肢ペダリング運動によって影響を受け、ペダリング速度が有意に低下した。しかしながら、この効果は 1 週間程度のトレーニングによって修飾を受け、速度低下は有意に漸減した。また、このトレーニング効果は、継続的に筋力トレーニングを行っている鍛錬者と非鍛錬者間で相違は見られなかった。これらの結果は、上・下肢に独立して存在すると考えられる中枢パターン発振システム間の連結が、トレーニング効果を受けて低減した可能性が考えられる。一方、この結果は脊髄より上位の中枢神経系による学習効果の可能性であることも否定できない。この点については、今後さらに検討を進めて行く必要がある。

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 8 件)

- ① Nakajima T, Barss T, Klärner T, Komiya T., Zehr EP. Amplification of interlimb reflexes evoked by stimulating the hand simultaneously with conditioning from the foot during locomotion. BMC Neurosci. 査読有 2013 13:14:28. doi:10.1186/1471-2202-14-28
- ② 小宮山伴与志 ヒトにおける四肢運動のリズム形成とその反射性制御 バイオメカニズム学会誌、2012, 38(2), 66-72. NAID : 10030319236

- ③ Komiya T. and Nakajima T. Reflex modulation during rhythmic limb movements in humans. J Phys Fitness Sports Med, 2012 査読有 1: 37-49. <http://dx.doi.org/10.7600/jpfsm.1.37>
- ④ Ohtsuka H, Sasada S, Nakajima T, Futatsubashi G, Shimizu E, Komiya T. Tuning of the excitability of transcortical cutaneous reflex pathways during mirror-like activity. Exp Brain Res. 査読有 2012 216(1):135-144. doi: 10.1007/s00221-011-2917
- ⑤ 笹田周作, 宮尾淳矢, 二橋元紀, 大塚裕之, 小宮山伴与志 膝関節伸筋群における総腓骨神経反射の解析方法の再検討とその姿勢依存性への適用. 日本運動生理学雑誌 2011 査読有 18(2), 55-64. <http://ci.nii.ac.jp/naid/110008711107/>
- ⑥ Nakajima T, Kitamura T, Kamibayashi K, Komiya T., Zehr EP, Hundza SR, Nakazawa K. Robotic-assisted stepping modulates monosynaptic reflexes in forearm muscles in the human. J Neurophysiol. 査読有 2011 106(4):1679-1687. doi: 10.1152/jn.01049
- ⑦ Sasada S, Tazoe T, Nakajima T, Zehr EP, Komiya T. Effects of leg pedaling on early latency cutaneous reflexes in upper limb muscles. J Neurophysiol. 査読有 2010 Jul;104(1):210-217. Doi: 10.1152/jn.00774.
- ⑧ 小宮山伴与志, 移動行動における脊髄反射の役割. 脳と神経 62 巻 11 号 1129-1137. 2010 年 11 月. PMID: 21068449

[学会発表] (計 12 件)

- ① Sasada S. Approach for the restoration of volitional walking via the artificial neural connection between descending command and lumbar spinal cord], 42nd annual meeting Society for Neuroscience 2012, Oct. 13-17, New Orleans, USA.
- ② Sasada S. Toward the restoration of volitional walking via an artificial neural connection between arm muscle and lumbar spinal cord after spinal cord injury, 8th FENS Forum of Neuroscience, 2012, July, 14-18 Barcelona, Spain.
- ③ Sasada S. Volitional control of walking via artificial neural connection between arm muscle and lumbar spinal cord. 第 35 回日本神経科学大会, 愛知県名古屋国際会議場, 2012 年 9 月 18 日

- ④ 笹田、人工神経接続を利用した下肢歩行運動の随意制御], 第89回日本生理学会大会, 長野県松本文化会館、2012, 3月29日.
- ⑤ OHTSUKA H. Excitations from the cortical arm area to the contralateral thigh muscles are partly mediated by cervical long propriospinal neurons in humans. Society for Neuroscience 2011 Nov 12-16, Washington D.C. USA.
- ⑥ Fumoto M. Effects of fatiguing pedaling exercise at maximal effort on electroencephalographic activity and mood. Society for Neuroscience 2010 Oct 13-17, SanDiego, USA.
- ⑦ 笹田周作、総腓骨神経刺激により膝関節伸筋群で生じる短潜時反射の上肢ペダリング運動による修飾 第64回日本体力医学会大会、朱鷺メッセ、新潟、2010年9月18日
- ⑧ Sasada S. Combined arm and leg pedaling produces a large effect on cutaneous reflex in the arm muscles. 第17回日本運動生理学会大会、東京慈恵会医科大学、2010年8月1日
- ⑨ NAKAJIMA T. Convergence in reflex pathways from multiple cutaneous nerves innervating the foot depends upon the number of rhythmically active limbs. Society for Neuroscience 2011 Nov 12-16, Washington D.C. USA.
- ⑩ TAZOE T. Transcallosal inhibition differentially modulates depending on the task requirement of two hands. Society for Neuroscience 2011 Nov 12-16, Washington D.C. USA.
- ⑪ Nakajima T, Convergence of effects from arm and leg pedaling on cutaneous reflex in arm muscles. Society for Neuroscience 2010 Oct 13-17, SanDiego, USA.
- ⑫ Sasada S. Arm pedaling modulates short latency reflex from ankle dorsiflexor afferents to knee extensor muscles. 29th International Congress of Clinical Neurophysiology (ICCN), Kobe International Convention Center, 2010年10月

[その他]

ホームページ等

http://www.edu.chiba-u.jp/home/staff_01.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小宮山 伴与志 (KOMIYAMA TOMOYOSHI)
千葉大学・教育学部・教授
研究者番号：70215408