

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350611

研究課題名(和文) ヒトの歩行運動における大脳皮質運動野の役割～筋内・筋間コヒーレンス解析を用いて～

研究課題名(英文) The motor cortex drive to muscle during walking in human: Analyses of intramuscular and intermuscular EMG coherence

研究代表者

高橋 真 (Takahashi, Makoto)

広島大学・医歯薬保健学研究院(保)・講師

研究者番号：50435690

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は大脳皮質運動野の錐体路細胞の律動的な活動を評価する方法である筋内コヒーレンス解析法を用いて、ヒト二足歩行の皮質制御機構を明らかにするため、前脛骨筋の近位部と遠位部から表面筋電図を計測し、トレッドミル上での定常歩行条件と二重課題歩行条件、つま先への重錘負荷歩行条件、障害物回避歩行条件で筋内コヒーレンスを比較した。その結果、歩行課題の状況に応じて、前脛骨筋の筋内コヒーレンスは変化し、大脳皮質運動野は歩行の状況に応じて、その関わりを柔軟に変化させることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：To identify the role of human primary motor cortex in walking, this study examined intramuscular tibialis anterior (TA) coherence during 1) steady-state walking, 2) walking with dual task, 3) walking with weight on the toe, 4) walking while stepping over an obstacle. There were significant differences in intramuscular coherence among 4 conditions. This finding indicates that cortical participation during walking is modified depending on the situations of walking.

研究分野：理学療法学，運動生理学，神経科学，バイオメカニクス

キーワード：歩行 運動野 皮質脊髄路 筋電図 コヒーレンス解析

1. 研究開始当初の背景

歩くことはヒトにとって最も根源的で重要な運動であり、その障害は高齢者や中枢神経疾患において頻発し、歩行能力の改善はリハビリテーションの重要な目標の1つである。したがって、ヒトの二足歩行運動制御の仕組みを明らかにすることは、歩行障害の神経学的機序の解明、さらには歩行能力改善のための効果的な介入方法の開発に繋がることが期待でき、極めて重要な研究課題である。

歩行運動制御に関する基本的な神経機構、すなわち律動的肢運動生成や筋緊張の制御は、四足歩行動物の研究から、主に脳幹と脊髄に存在するとされている。さらに、障害物の回避や梯子上での歩行中には運動野錐体路細胞の活動が一過性に増強することから、視覚情報に基づく精緻な肢運動軌跡生成が必要な歩行、すなわち随意的な歩行では大脳皮質運動野が重要な役割を果たすと考えられている。

ヒトの二足歩行においては、経頭蓋磁気刺激法などの非侵襲的脳機能計測方法を用いた研究や、最近では運動皮質-筋間または筋内・筋間コヒーレンス解析を用いて、ヒトの定常歩行中の運動野の関与が明らかにされつつある。しかしながら、これまでのヒトの二足歩行に関する研究はトレッドミル上での定常歩行に留まっているのが現状である。

2. 研究の目的

本研究ではトレッドミル上での二重課題歩行、つま先への重錘負荷歩行、障害物を跨ぐ歩行の3つの異なる歩行とトレッドミル上での定常歩行中の前脛骨筋の筋内コヒーレンスを比較し、大脳皮質運動野の関与を明らかにする。

3. 研究の方法

対象者は健康若年者7名とした。運動課題は、(1)トレッドミル上での5分間の定常歩行(時速4km/h)、(2)定常歩行に計算課題を付加(二重課題歩行)、(3)定常歩行につま先に重錘(500g)を付加(重錘歩行)、(4)静止立位から歩き始め2歩目で障害物(高さ30cm)を跨ぐ歩行(跨ぎ歩行)の4条件とした。(1)~(3)はトレッドミル上で5分間歩行し、(4)は100試行繰り返し実施した。

課題動作時の筋活動は、表面筋電図(日本光電、多チャンネルテレメータシステムWeb-1000)を用い、右側前脛骨筋の近位部と遠位部に電極を貼付し、測定を行った。なお、遠位部と近位部の電極間は10[cm]以上離れた。また、右踵部にテープスイッチ(東京センサ、LS-023)を着用し、踵接地のタイミングの指標とした。全ての計測信号はサンプリング周波数4KHzで記録した。

前脛骨筋の近位部と遠位部から得られた筋電図から踵接地のタイミングを基準に1歩行周期毎の筋活動を抽出し、連結した後、全波整流を行った。2乗平均平方根(Root mean square: 以下、RMS)を算出し、筋活動量の指

標とした。さらに、MatLab2013b(Mathworks)および解析プログラムNeurospec2.0(www.neurospec.org)を使用し、高速フーリエ変換により周波数解析を行った後、前脛骨筋の近位部と遠位部の2つの筋電図信号間のコヒーレンス解析を行った。

図1はトレッドミル上での定常歩行中の前脛骨筋の近位部と遠位部の筋電図データからコヒーレンス解析を行った一例である。コヒーレンスは2つの波形信号のある周波数領域における相関の強さを示したもの(0~1の範囲)であり、定常歩行中には15~25Hzのベータ帯域と30~45Hzのガンマ帯域を含む5~50Hzの周波数帯域で有意なコヒーレンスが認められる。このベータ帯域とガンマ帯域のコヒーレンスは運動野における錐体路細胞の律動的な活動が皮質脊髄路を介して末梢に伝搬される遠心性の現象とされており、本研究では15~35Hzの帯域での筋内コヒーレンス面積値を算出した。

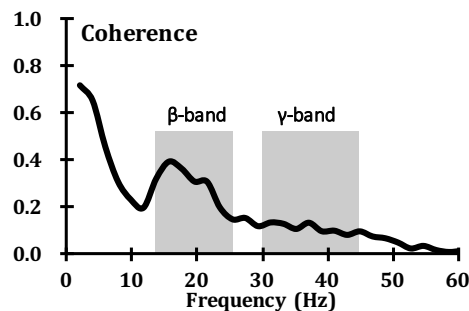


図1. 前脛骨筋の筋内コヒーレンスの一例

4. 研究成果

図2に4条件でのコヒーレンス面積値、図3に筋活動量(RMS)を示す。

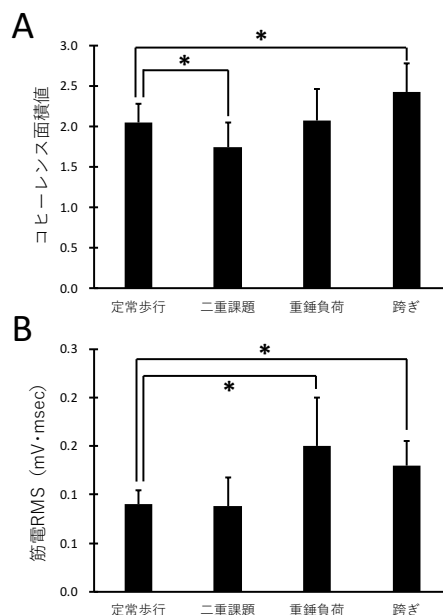


図2. 各条件でのコヒーレンス、筋活動量 (p<0.05 vs. 定常歩行)

(1) 前脛骨筋の筋内コヒーレンスは、定常歩行条件と比較して、二重課題（計算課題付加）歩行条件では低値を示した。したがって、大脳皮質運動野が関与する歩行課題が、中枢神経系での処理が必要となる認知課題との同時遂行によって干渉を受けることで、歩行課題に向けた注意資源容量が減少し、前脛骨筋に対する運動野の関与が低下したことが示唆された。

(2) 前脛骨筋の筋活動量は定常歩行条件に比べ、つま先への重錘負荷歩行条件で増大したが、筋内コヒーレンスには両条件で差を認めなかった。前脛骨筋は歩行時遊脚期に足趾のクリアランス確保のため、足関節の背屈に作用する。高齢者では前脛骨筋の機能障害に起因する遊脚期の背屈現象が起り、つま先が地面や障害物に寄与することで転倒につながりやすいとされている。このような転倒予防のために、つま先に重錘負荷を課す歩行トレーニングが行われているが、本研究の結果より、筋活動を増大させる効果はあるが、運動野の関与は増大せず、神経-筋トレーニングの観点からはトレーニング効果が期待できないことが示唆された。

(3) 前脛骨筋の筋内コヒーレンスは、跨ぐ歩行時に定常条件と比較し、高値を示した。この結果は、より随意制御が必要とされる歩行制御に大脳皮質運動野が重要な役割を果たすことが示唆された。

以上の結果より、大脳皮質運動野は歩行制御において、状況に応じてその関わりを変化させ、特に随意制御が必要な場合には重要な役割を果たすことが示された。本研究で使用した筋内コヒーレンス解析は、表面筋電図のみの計測によって解析が可能であり、非常に簡便である。本研究によって様々な歩行中の運動野の関与を評価する方法を確立できたことで、歩行障害の神経学的機序の評価方法の1つとして今後さらなる臨床応用が期待できる。

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 13 件）

1. Sawada T, Tokuda K, Tanimoto K, Iwamoto Y, Ogata Y, Anan M, Takahashi M, Kito N, Shinkoda K: Foot alignments influence the effect of knee adduction moment with lateral wedge insoles during gait. *Gait Posture*, 49: 451-456, 2016, 査読有 DOI:10.1016/j.gaitpost.2016.08.011.
2. Ishii K, Matsukawa K, Liang N, Endo K, Idesako M, Asahara R, Kadowaki A, Wakasugi R, Takahashi M: Central command generated prior to arbitrary motor execution induces muscle vasodilatation at the beginning of dynamic exercise. *J Appl Physiol*, 120: 1424-1433, 2016, 査読有 DOI:10.1152/jappphysiol.00103.2016.
3. Tanimoto K, Anan M, Sawada T, Takahashi M, Shinkoda K: The effects of altering attentional demands of gait control on the variability of temporal and kinematic parameters. *Gait Posture*, 47: 57-61, 2016, 査読有 DOI:10.1016/j.gaitpost.2016.04.005.
4. Takeda T, Anan M, Takahashi M, Ogata Y, Tanimoto K, Shinkoda K: Influences of trunk flexion on mechanical energy flow in the lower extremities during gait. *J Phys Ther Sci*, 28: 1459-1464, 2016, 査読有 DOI:10.1589/jpts.28.1459.
5. Sunaga Y, Kanemura N, Anan M, Takahashi M, Shinkoda K: Estimation of inertial parameters of the lower trunk in pregnant Japanese women: A longitudinal comparative study and application to motion analysis. *Appl Ergon*, 55: 173-182, 2016, 査読有 DOI:10.1016/j.apergo.2016.02.010.
6. Takahashi M, Nakamoto T, Matsukawa K, Ishii K, Watanabe T, Sekikawa K, Hamada H: Cardiac parasympathetic outflow during dynamic exercise in humans estimated from power spectrum analysis of PP interval variability. *Exp Physiol*, 101: 397-409, 2016, 査読有 DOI: 10.1113/EP085420.
7. Sawada T, Kito N, Yukimune M, Tokuda K, Tanimoto K, Anan M, Takahashi M, Shinkoda K: Biomechanical effects of lateral and medial wedge insoles on unilateral weight bearing. *J Phys Ther Sci*, 28: 280-285, 2016, 査読有 DOI: 10.1589/jpts.28.280.
8. Kamikawa N, Taito S, Takahashi M, Sekikawa K, Hamada H: Effect of different levels of pressure relieving air-mattress firmness on cough strength. *PLoS One*, 11: e0146714, 2016, 査読有 DOI: 10.1371/journal.pone.0146714.
9. Kimura T, Hamada H, Taito S, Takahashi M, Sekikawa K: The effect of exercise on blood fluidity: Use of the capillary model to assess the cloginess of blood. *Clin Hemorheol Microcirc*, 61: 559-569, 2016, 査読有 DOI: 10.3233/CH-141893.
10. Ishii K, Matsukawa K, Liang N, Endo K, Idesako M, Hamada H, Kataoka T, Ueno K, Watanabe T, Takahashi M: Differential contribution of ACh-

- muscarinic and β -adrenergic receptors to vasodilatation in noncontracting muscle during voluntary one-legged exercise. *Physiol Rep*, 2: e12202, 2014, 査読有 DOI: 10.14814/phy2.12202.
11. Takahashi M, Uchida N, Yoshida M, Liang N, Nakazawa K, Sekikawa K, Inamizu T, Hamada H: Phase-dependent modulation of corticospinal excitability during the observation of the initial phase of gait. *Somatosens Mot Res*, 31: 209-213, 2014, 査読有 DOI: 10.3109/08990220.2014.923392.
 12. Taito S, Domen S, Sekikawa K, Kamikawa N, Oura K, Kimura T, Takahashi M, Hamada H: Cigarette smoking does not induce plasma or pulmonary oxidative stress after moderate-intensity exercise. *J Phys Ther Sci*, 26: 413-415, 2014, 査読有 DOI: 10.1589/jpts.26.413.
 13. Liang N, Funase K, Takahashi M, Matsukawa K, Kasai T: Unilateral imagined movement increases interhemispheric inhibition from the contralateral to ipsilateral motor cortex. *Exp Brain Res*, 232: 1823-1832, 2014, 査読有 DOI: 0.1007/s00221-014-3874-4.
- [学会発表] (計 7 件)
1. Iwamoto Y, Takahashi M, Shinkoda K: Decreased muscle co-contraction during voluntary postural sway at fast speed in the elderly people. The 13th Asian Confederation of Physical Therapy 2016, October 7-8, 2016, Kuala Lumpur, Malaysia
 2. Sumimoto T, Shinkoda K, Fukui M, Takahashi M: Effects of motion speed on trunk biomechanics in the frontal plane during sit-to-walk. The 13th Asian Confederation of Physical Therapy 2016, October 7-8, 2016, Kuala Lumpur, Malaysia
 3. Fukui M, Shinkoda K, Sawada T, Takahashi M: Influence of increased stair descent speed on biomechanics of lower limb. The 13th Asian Confederation of Physical Therapy 2016, October 7-8, 2016, Kuala Lumpur, Malaysia
 4. Takeda T, Shinkoda K, Ogata Y, Tanimoto K, Tokuda K, Anan M, Takahashi M: Influences of aging on utilization of motor redundancy during gait. The 17th International Congress of the World Confederation for Physical Therapy, May 1-4, 2015, Singapore
 5. Ogata Y, Shinkoda K, Takeda T, Tanimoto K, Anan M, Takahashi M: Effects of sitting postures with spine flexion prior to the lowering tasks on low back pain. The 17th International Congress of the World Confederation for Physical Therapy, May 1-4, 2015, Singapore
 6. 三輪美幸, 高橋真, 岩政亮平, 阿南雅也, 新小田幸一: ヒトの二重課題歩行における大脳皮質一次運動野の関与-筋内・筋間コヒーレンス解析による検証-. 第 50 回日本理学療法学会大会, 東京都, 2015 年 6 月 5-7 日
 7. Iwamoto Y, Shinkoda K, Sawada T, Anan M, Takahashi M. Muscle co-contraction in the ankle joint at different performance speeds in the elderly adults. 2015 ISPGR (The International Society for Posture and Gait Research) World Congress, June 28-July 2, 2015, Seville, Spain
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
高橋 真 (TAKAHASHI MAKOTO)
広島大学・大学院医歯薬保健学研究院・講師
研究者番号: 50435690
- (2) 連携研究者
新小田 幸一 (SHINKODA KOICHI)
広島大学・大学院医歯薬保健学研究院・教授
研究者番号: 70335644
- 阿南 雅也 (ANAN MASAYA)
広島大学・大学院医歯薬保健学研究院・助教
研究者番号: 10517080