

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：17702

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700699

研究課題名(和文) 反応の遅延に関する中枢メカニズムの解明

研究課題名(英文) Relationship between the delay of response and nervous system

研究代表者

與谷 謙吾 (YOTANI, Kengo)

鹿屋体育大学・スポーツ生命科学系・講師

研究者番号：10581142

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)：本研究では、筋電図や経頭蓋磁気刺激等を用いて、視覚反応に対する神経系の所要時間(筋電図反応時間)を脳内の処理時間(VMRT)と下行性の伝導時間(MEP潜時)に区分しつつ、反応の遅延について調査した。その結果として、1) 反応の遅延は、筋電図反応時間の中でもMEP潜時ではなく、VMRTに影響する。2) VMRTが遅延する際、脱酸素化ヘモグロビンの相対濃度は増加傾向を示す。3) 経頭蓋磁気刺激による反応課題中の外乱入力、皮質興奮性の変化と個人のVMRTの長さに依存して筋電図反応時間を遅延させる。

研究成果の概要(英文)：Pre-motor time (PMT) during motor reaction tasks reflects the time needed for processing a sensory stimulus and primarily consists of the time for intracranial processing (visuo-motor related time: VMRT) and neural conduction (motor evoked potential: MEP latency) between the motor cortex and corresponding muscle. The present experiment was to examine the PMT delay using noninvasive technique, such as electromyogram or transcranial magnetic stimulator (TMS). The main findings were: 1) the PMT delay comparatively influences VMRT, but not MEP latency, 2) relative concentration of deoxygenation haemoglobin shows a tendency to increase when VMRT delayed, 3) disturbance input during reaction task by TMS delays the PMT depending on changes in cortical excitability and length of individual VMRT.

研究分野：健康・スポーツ科学

キーワード：筋電図 反応時間 経頭蓋磁気刺激

1. 研究開始当初の背景

反応時間計測において、外部信号(光や音など)から筋放電活動開始までの期間を評価する筋電図反応時間は、神経系の所要時間を反映し、同時に、反応課題全体の処理時間における半数以上の割合を占める(Mero et al., 1990; Winter et al., 1991)。それは、一般人だけでなく、身体機能が発達しているスポーツ選手においても同様であり、反応パフォーマンスを左右する重要な時間要素とされている(與谷ら, 2007)。従って、筋電図反応時間の短縮は、日常生活における適応的な行為やスポーツにおける卓越した反応パフォーマンスを促進する重要な因子であると考えられている。そのため、従来の反応時間研究は、積極的な筋電図反応時間を短縮させる試みが多く行われてきたが(Lee et al., 1999; 与那ら, 1990)、その一方で、筋電図反応時間の遅延(時間的に長くなる)に関する知見は希少であり、今後、発展が望まれる分野であると考えられる。

2. 研究の目的

筋電図反応時間は、①外部刺激から一次運動野に至る(錐体細胞の発火)までの脳内の処理時間である視覚-運動関連時間(visuo-motor related time: VMRT)と②その一次運動野から筋に信号が伝達されるまでの下行性伝導時間を反映する運動誘発電位(motor evoked potential: MEP)潜時の2つの期間に区分することができる(Yotani et al., 2011)。本研究では、この区分法や経頭蓋磁気刺激等の非侵襲的手法を用いて、上位中枢を含めた視覚反応に対する筋電図反応時間の変化(遅延)を検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 筋電図反応時間の変化(遅延)に関わる各時間要素(①VMRTと②MEP潜時)の同定を試みるため、脳波の記録によって得られる成分潜時との関連性を調査した。健康な成人男性を対象に、光刺激に対する筋電図反応時間を脳波と同時に計測した。加えて、筋電図反応時間は、経頭蓋磁気刺激装置を用いてVMRTとMEP潜時に区分した。脳波記録による成分はP300(P3)、並びに視覚誘発電位(VEP)におけるN1、P1、N2、P2とし、各々の潜時を計測した。

(2) 経頭蓋磁気刺激装置を用いて、筋電図反応時間を①VMRTと②MEP潜時に区分して評価しつつ、反応課題中の脱酸素化ヘモグロビン(HHb)の相対濃度を前頭部から計測し、反応の処理に対する中枢への影響を検討した。健康な成人男性を対象に、光刺激に対す

る筋電図反応時間を一側肢の反応課題より計測し、その際、対側肢では力発揮(最大随意収縮(MVC))に対する20%、40%、並びに60%を遂行させた。

(3) 視覚反応課題中に経頭蓋磁気刺激装置を用いて頭頂(一次運動野)から刺激(外乱)を与えた際の筋電図反応時間への影響について検討した。健康な成人男性を対象に、光刺激に対する筋電図反応時間を計測し、反応課題中の磁気刺激パターンとして単発法、並びに二連発法を施した。各法の刺激強度において、単発法は、安静時に約1mVのMEPが記録できる強度を、二連発法では、単発法と同様の強度(100%: 試験刺激)と、それに先行した80%強度(条件刺激)を用いた。また、二連発法の刺激間隔(ISI)は、3ms (3-ISI)と10ms (10-ISI)の2通りを行った。加えて、単発法および二連発法の試験刺激のタイミングは、光信号から100ms時に与えられるように設定した。尚、実験前に、全ての被検者で安静条件(刺激無し)での筋電図反応時間を計測して①VMRTと②MEP潜時を算出し、VMRTが100msよりも短い者がいなかったことを確認した。

4. 研究成果

(1) 単相関分析の結果、脳波成分におけるP3潜時は、筋電図反応時間のなかでもVMRTとの間で高い正の相関関係($r=0.8-0.9$; $p<0.05$)を示し、MEP潜時との間では相関関係はみられなかった。各VEP潜時との関連性については、MEP潜時との間で相関関係はみられなかったが、VMRTとP2潜時との間でのみ有意な負の相関関係が認められた($r=-0.76$, $p<0.05$)。主に、脳波成分におけるP3潜時は、視覚野以降の脳内の高次処理速度を、各VEP潜時は、網膜から視覚野までの視覚処理速度を反映する。本研究で得られたVMRTとP2潜時との負の関連性は、今後の検討課題に寄与するものと思われるが、全ての脳波成分は、MEP潜時ではなくVMRTとの間で関連性を示した。以上のことより、筋電図反応時間における変化(遅延)はVMRTに起因することが推察された。

(2) 筋電図反応時間は力発揮の増加に伴って長くなる傾向を示し、一側肢のみ(力発揮なし)の場合と比較して60%MVCでの筋電図反応時間は有意に長くなった($p<0.01$)。VMRTも同様に、60%MVC時は有意に長く($p<0.01$)、また、HHbも力発揮の増加に伴って増加する傾向を示した。一方、MEP潜時は、力発揮の有無に関わらず不変であった。以上のことより、筋電図反応時間における変化(遅延)は、MEP潜時ではなくVMRTに影響し、さらに、これまでの知見(Sugawara et al., 2013)、並びに結果を考慮して、その遅延が視覚野以降から

一次運動野に至るまでのより高次な処理に影響していることが推察された。

(3) 全ての刺激条件(単発法, 二連発法: 3-ISI, 10-ISI)は, 安静条件と比較して, 筋電図反応時間が有意に長くなった($p<0.01$)。一方で, 二連発法の 3-ISI の筋電図反応時間は, 単発法および二連発法の 10-ISI と比較して有意に短くなり($p<0.01$)、同様に, 刺激時に誘発される MEP の振幅も 3-ISI は単発法や 10-ISI よりも有意に小さかった($p<0.05$)。加えて, 各個人の VMRT と各刺激条件の筋電図反応時間との間には正の相関関係がみられた($r=0.71$; $p<0.01$)。以上のことより, 外乱がもたらす反応処理の遅延は, 皮質興奮性の影響, 並びに各個人の脳内の処理時間に関連することが推察された。

これらの結果をすべて考慮すると, 反応の遅延は, 神経系の所要時間のなかでも, 一次運動野からの下行性伝導時間より外部刺激から一次運動野に至るまでの脳内の処理時間に影響し, 通常(安静)の反応処理とは異なる条件下で変化することが示唆された。今後は, 反応トレーニングの介入などによる遅延抑制の模索へと展開が望まれる。

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 9 件)

- ① Tamaki H., Tomori K., Yotani K., Ogita F., Sugawara K., Suzuki M., Kirimto H., Onishi H., Yamamoto N., Kasuga N. Electrical stimulation of denervated rat skeletal muscle retards trabecular bone loss in early stages of disuse musculoskeletal atrophy. *J. Musculoskelet. Neuronal. Interact.*, 14, 2014, 220-228. URL: <http://www.ismni.org/jmni/pdf/56/09TAMAKI.pdf#search=Electrical+stimulation+of+denervated+rat+skeletal+muscle+retards+trabecular+bone+loss+in+early+stages+of+disuse+m+usculoskeletal+atrophy>. '26. 査読有
- ② Yotani K., Nakamoto H., Ikudome S., Yuki A. Muscle contraction and relaxation-response time in response to on or off status of visual stimulus. *J. Physiol. Anthropol.*, 33, 2014, 1-4. DOI: 10.1186/1880-6805-33-23. 査読有
- ③ Ogita F., Nishiwaki M., Kurobe K., Zhong H., Tamaki H., Yotani K., Saito K. Effects of intermittent hypobaric hypoxic exercise for four weeks on cardiovascular responses. *Adaptive Medicine*, 6, 2014, 124-130. DOI: 10.4247/AM.2014.ABE085. 査読有
- ④ Nakamoto H., Ikudome S., Yotani K., Maruyama A., Mori S. Fast-ball sports experts depend on an inhibitory strategy to reprogram their movement timing. *Ex. Brain*

Res. 228, 2013, 193-203. DOI: 10.1007/s00221-013-3547-8. 査読有

- ⑤ Tamaki H., Yotani K., Ogita F., Takahashi H., Onishi H., Yamamoto N. Changes over time in structural plasticity of trabecular bone in rat tibiae immobilized by reversible sciatic denervation. *J. Musculoskelet. Neuronal. Interact.* 13, 2013, 251-258. URL: <http://www.ismni.org/jmni/pdf/53/04TAMAKI.pdf#search=Changes+over+time+in+structural+plasticity+of+trabecular+bone+in+rat+tibiae+immobilized+by+reversible+sciatic+denervation>. ' 査読有
- ⑥ Yotani K., Tamaki H., Nakamoto H., Yuki A., Kirimoto H., Kitada K., Ogita F., Mori S. Visuo-motor related time analysis using electroencephalograms. *World Journal of Neuroscience*, 3, 2013, 142-146. DOI: 10.4236/wjns.2013.33018 査読有
- ⑦ Ikudome S., Nakamoto H., Yotani K., Kanehisa H., Mori S. Visuo-motor process in movement correction: Role of internal feedback loop. *NeuroReport*, 24, 2013, 879-883. DOI: 10.1097/WNR.000000000000010 査読有
- ⑧ 與谷謙吾, 中本浩揮, 柳楽晃, 荻田太. 光刺激を用いた反応トレーニング並びにその後の脱トレーニングに伴う視覚-運動関連時間の変化. *九州体育・スポーツ学研究*, 28, 2013, 27-32. URL: <http://ci.nii.ac.jp/naid/40019916236> 査読有
- ⑨ 幸篤武, 與谷謙吾, 石道峰典, 田巻弘之, 春日規克. ジャンプトレーニング並びに持久走トレーニングによるラット下肢骨及び骨格筋の発達変化とその関連性. *日本運動生理学雑誌*, 19, 2012, 65-73. URL: http://ci.nii.ac.jp/els/110009479353.pdf?id=ART0009946262&type=pdf&lang=jp&host=ci.nii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1429591221&cp= 査読有

[学会発表] (計 21 件)

- ① 村中まいか, 鷲野壮平, 高山史徳, 萬久博敏, 與谷謙吾, 荻田太. 試合期における流水プールでのスプリントトレーニングの実践と効果の検証. 第 27 回トレーニング科学学会大会, 2014, 11/22-23. 独立行政法人産業技術総合研究所臨海副都心センター(東京都・江東区)
- ② 田巻弘之, 與谷謙吾, 荻田太, 桐本光, 大西秀明, 山本智章, 春日規克. 高齢ラットの廃用性骨量低下を軽減する筋電気刺激の効果. 第 69 回日本体力医学会大会, 2014, 9/19-21. 長崎大学(長崎県・文教町)
- ③ 與谷謙吾, 中本浩揮, 幸篤武, 桐本光, 前阪茂樹, 荻田太, 田巻弘之. 運動誘発電位潜時における競技経験、性差、並びに体格の影響. 第 69 回日本体力医学会大会, 2014, 9/19-21. 長崎大学(長崎県・文教町)
- ④ 荻田太, 與谷謙吾, 黒部一道, 黄忠, 柳楽

- 晃, 西脇雅人, 田卷弘之. 低圧低酸素トレーニングによる動脈スティフネスの変化と運動時血圧の変化との関係. 第 69 回日本体力医学会大会, 2014, 9/19-21. 長崎大学 (長崎県・文教町)
- ⑤ Tamaki H., Yotani K., Kirimoto H., Sugawara K., Tsubaki A., Onishi H., Yamamoto A., Kasuga N. Streptomycin inhibits effects of electrical stimulation-induced muscle force on reducing disused bone loss. American Society for Bone and Mineral Research, 2014, 9/12-15. Texas (USA)
- ⑥ 荻田太, 與谷謙吾, 田口信教, 黒部一道, 黄忠, 柳楽晃. 球技選手の走パフォーマンス向上を目指したスプリント走トレーニングの効果. 第 65 回日本体育学会大会, 2014, 8/25-28. アリーナ・マリオス・岩手大学 (岩手県・盛岡市)
- ⑦ 田卷弘之, 與谷謙吾, 荻田太, 春日規克. 電気刺激による筋収縮が不動性骨量低下の軽減に及ぼす効果と機械伸展活性チャネルの関与. 第 22 回日本運動生理学会大会, 2014, 7/19-20. 川崎医療福祉大学 (岡山県・倉敷市)
- ⑧ Ogita F., Nagira A., Yotani K., Taguchi N., Tamaki H. Effects of repetitive short-term hypoxic training on metabolic risk factors. 19th Annual Congress of European College of Sport Science, 2014, 7/2-5. Amsterdam (Nederland)
- ⑨ Nakamoto H., Ikudome S., Yotani K., Unenaka S., Mori S. The influence of different response types on movement correction during a coincidence timing task. NASPSA Conference, 2014, 6/12-14. Minneapolis (USA)
- ⑩ 荻田太, 與谷謙吾, 柳楽晃, 山中大祐, 黒部一道, 西脇雅人, 田卷弘之. 低圧環境下における短期間運動トレーニングの間欠的反復実施が耐糖能、血中脂質、体脂肪に与える影響. 第 68 回日本体力医学会大会, 2013, 9/21-23. 日本教育会館・学術総合センター (東京都・千代田区)
- ⑪ 田卷弘之, 友利幸之介, 與谷謙吾, 高橋英明, 菅原和広, 桐本光, 大西秀明, 荻田太, 山本智章, 春日規克. 除神経後の電気刺激誘発性筋収縮張力が脛骨骨梁構造維持に及ぼす影響. 第 68 回日本体力医学会大会, 2013, 9/21-23. 日本教育会館・学術総合センター (東京都・千代田区)
- ⑫ 荻田太, 與谷謙吾, 田中孝夫, 田口信教, 柳楽晃, 黒部一道, 西脇雅人, 田卷弘之. 低圧環境下における競泳スプリントトレーニングが力学的指標およびストローク指標に及ぼす影響. 第 64 回日本体育学会大会, 2013, 8/28-30. 立命館大学 (滋賀県・草津市)
- ⑬ Ogita F., Kurobe K., Huang Z., Nagira A., Nishiwaki M., Yotani K., Tanaka T., Tamaki H. Effects of exercise type performed under hypobaric hypoxic conditions on blood pressure and vascular adaptations. 18th Annual Congress European College of Sport Science, 2013, 6/26-29. Barcelona (Spain)
- ⑭ Yotani K., Tamaki H., Nakamoto H., Yuki A., Kirimoto H., Takahashi H., Kitada K., Ogita F. Effect of relaxation response time based on different tonic levels. 18th Annual Congress European College of Sport Science, 2013, 6/26-29. Barcelona (Spain)
- ⑮ Kirimoto H., Tamaki H., Onishi H., Suzuki M., Matsumoto T., Yotani K. Differential sensori-motor modulations on the load compliance during maintaining constant finger force or position. 18th Annual Congress European College of Sport Science, 2013, 6/26-29. Barcelona (Spain)
- ⑯ 芝野広一, 柳楽晃, 與谷謙吾, 荻田太. 光刺激に対する反応トレーニングが音刺激への反応時間に及ぼす影響. 第 25 回トレーニング科学学会大会, 2012, 12/1-2. 立命館大学 びわこくさつキャンパス(滋賀県・草津市)
- ⑰ 與谷謙吾, 田卷弘之, 中本浩揮, 桐本光, 幸篤武, 高橋英明, 北田耕司, 荻田太. 筋電図および脳波を用いた単純反応課題における中枢処理の検討. 第 67 回日本体力医学会大会, 2012, 9/14-16. 長良川国際会議場・岐阜都ホテル(岐阜県・岐阜市)
- ⑱ 田卷弘之, 友利幸之介, 與谷謙吾, 高橋英明, 桐本光, 大西秀明, 荻田太. 電気刺激による筋収縮張力が除神経後の骨萎縮防止に及ぼす影響. 第 67 回日本体力医学会大会, 2012, 9/14-16. 長良川国際会議場・岐阜都ホテル(岐阜県・岐阜市)
- ⑲ 荻田太, 柳楽晃, 芝野広一, 山中大祐, 黒部一道, 黄忠, 西脇雅人, 與谷謙吾, 田卷弘之. 低圧環境下で行う運動のタイプが心血管応答および動脈スティフネスに及ぼす影響. 第 67 回日本体力医学会大会, 2012, 9/14-16. 長良川国際会議場・岐阜都ホテル(岐阜県・岐阜市)
- ⑳ 北田耕司, 岩竹淳, 小森康加, 與谷謙吾, 田卷弘之. 投球動作の指導方法の違いが球速に与える影響 - 下半身中心の指導と上半身中心の指導の違いについて. 第 63 回日本体育学会大会, 2012, 8/22-24. 東海大学(神奈川県・平塚市)
- ㉑ Yotani K., Tamaki H., Nakamoto H., Shibano K., Yuki A., Kirimoto H., Kitada K., Ogita F., Mori S. Reaction time analysis in visual response using electromyography and electroencephalography. 17th Annual Congress European College of Sport Science, 2012, 7/4-7. Bruges (Belgium)

[その他]

ホームページ等

<http://www.nifs-k.ac.jp/property/research/syllabary/05/000447.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

與谷 謙吾 (YOTANI Kengo)
鹿屋体育大学・スポーツ生命科学系・講師
研究者番号：10581142

(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

中本 浩揮 (NAKAMOTO Hiroki)
鹿屋体育大学・スポーツ人文応用社会科学
系・准教授
研究者番号：10423732

幸 篤武 (YUKI Atsumu)
高知大学・教育学部・助教
研究者番号：00623224