

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 14 日現在

機関番号：33111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350829

研究課題名(和文)筋収縮張力による骨萎縮の防止効果とメカノセンサーの役割の解明

研究課題名(英文) Effects of electrical stimulation-induced muscle contraction on bone loss and the role of mechanosensors in bone

研究代表者

田巻 弘之 (TAMAKI, Hiroyuki)

新潟医療福祉大学・医療技術学部・教授

研究者番号：40253926

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：除神経による不動態は骨量の低下や骨梁構造の変化を伴う筋骨格系の萎縮を引き起こす。不動態筋への電気刺激誘発性筋収縮が骨量低下軽減に及ぼす効果を検証した結果、刺激強度16mA、頻度10Hz、1日30分間の刺激条件で不動態初期(1週間)の萎縮を軽減できた。機械伸展活性化チャネル(SAC)の阻害剤のひとつであるstreptomycinを投与すると、阻害剤単独では骨量を低下しないが、電気刺激誘発性筋収縮による効果を軽減した。不動態初期の電気刺激誘発性筋収縮は、おそらくSACの働きを介して、不動態初期の骨の維持に有益であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Limb disuse due to denervation causes musculoskeletal atrophy accompanied by a large reduction in bone mass and changes in trabecular architecture.

We determined the effects of direct electrical stimulation (ES)-induced muscle contraction on the histological profiles in atrophied skeletal muscle fibers and bone tissues after denervation.

The main findings of the present study were: (1) direct electrical stimulation (ES, 16mA, 10Hz, for 30min/day) reduced disuse muscle and bone loss at the early stage of disuse atrophy; and (2) streptomycin treatment, which is one of the potent blockers of stretch-activated channels (SACs), did not induce bone loss, but it attenuated the effects of ES-induced muscle force on reducing the loss of disused bone. This experimental evidence suggests that ES-induced muscle contractions can have beneficial effects on bone health in the early stage of disuse bone loss through activation of SACs.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：電気刺激 骨代謝 機械的負荷 筋収縮

1. 研究開始当初の背景

廃用性筋萎縮及び骨萎縮は四肢の不動もしくは身体の不活動により起こり、これは老若男女を問わない。一方、運動刺激により筋量や骨量が維持回復することはよく知られているが、特に骨は力学的刺激を受けることに意義があると広く謳われている。しかしこの運動には種々の因子(力学的ストレス、循環、温度、神経活動、内分泌の変化など)が内在しており、特に、運動で誘発される骨への力学的因子も、1)筋収縮張力自体や2)地面など外界との接触による衝撃力(反力)による骨へのメカニカルストレス等が混在した状態で有効性が検証されてきている。これまで、発育期や中高齢期において、走運動やジャンプトレーニング、細胞まわりの電気的活動や力学的ストレスを適切に処方することにより、筋萎縮防止や骨形成促進など機能や構造が改善することを、組織細胞から遺伝子発現レベルで報告してきている。また、不動にした下肢に対しても、骨格筋へ直接電気刺激を処方することで、ある程度筋萎縮を軽減すること、さらに骨組織へパルス磁場を処方することで骨形成関連遺伝子の発現が高まることが明らかにされてきた。しかしながら、組織の違い(筋、骨)により効果の現れ方が異なることや効果発現の時期にズレがあることも同時に見出しており、特に一過性の萎縮からの回復期においては、筋量の回復に2~3週間遅れて骨量が回復するという時間的ズレが確認されており、筋収縮によって引き起こされた張力自体が、力学的負荷となって、果たしてどの程度速やかに有効に骨量維持に働くか不明な点が散見され、機序を含めてそれらの実験的検証が望まれている。

2. 研究の目的

1) 若齢期および高齢期ラットを対象に、電気刺激による筋収縮張力が不動による骨萎縮防止に有効であるかを、筋・骨格系の3次元構造とその機能(強度や張力)の側面から、組織細胞学的に明らかにする。

2) 筋萎縮軽減効果が認められる刺激強度は、同じく骨萎縮防止(もしくは軽減)にも有効であるか、その異同を検索する。

3) さらに力学的刺激から骨形成促進に至るメカノトランスダクション経路を明らかにするため、その機序に参与すると考えられている機械伸展活性化チャンネルの阻害剤を用いて、上記1)、2)で効果が見られる刺激強度において、阻害剤により効果が消失するかどうかを検証する。

3. 研究の方法

若齢期ラット(7~10週齢)及び高齢期ラット(2年齢)を対象として、下肢不動モデル動物を作成するために、神経凍結法を用いて坐骨神経の凍結損傷により、一過性の不動モデルラットを作成し、下肢骨格筋及び骨の萎縮を惹起した。また、それらの不動ラット

に筋電気刺激の効果を検証するため、低・中・高の3種類の電気刺激強度で1日30分間の刺激を経皮的に1及び3週間実施した。刺激強度は4, 8, 16 mAの3群及び刺激なし群(0mA)を設けた。術後の電気刺激1週目及び3週目に脛骨並びに前脛骨筋、ヒラメ筋を採取した。各刺激条件での前脛骨筋の発揮張力も計測確認した。

採取した脛骨は、3次元マイクロCTにて撮影し、骨梁及び皮質骨の立体構造(骨量;BV/TV, 骨梁幅;Tb.Th, 骨梁数;Tb.N, 骨梁間距離;Tb.Sp, 骨梁連結密度;Conn.Dn, 皮質骨幅、断面二次モーメント;MI, porosity)を評価した。また脛骨骨幹部の破断強度を3点支持破断強度測定装置で測定し、Maximum load, stiffness等の力学的特性を評価した。また採取した脛骨は、薄切切片を作成し、H-E(吉木法)、Azan及び免疫染色を施し、光学顕微鏡及び蛍光顕微鏡にて観察のため、骨組織形態計測に供した。

若齢期及び高齢期ラットを対象に、左坐骨神経を除神経した後(DN群)、左下腿前面への経皮的電気刺激(ES: 16mA, 10Hz, 30分/日, 6日/週)を1週間行う群(DN+ES群)、streptomycin (SAチャンネル阻害剤;Str)を投与する群(DN+Str群)、ESとStrとを処方する群(DN+ES+Str群)及び対照群(Cont群)を設けた。Strは経口(4g/L)でES処置終了日まで投与した。脛骨を除神経後1週間後に採取して3次元マイクロCTにて撮影し、骨量及び骨梁立体構造を評価した。また脛骨骨幹部の破断強度を3点支持破断強度測定装置で測定した。採取した脛骨は、薄切切片を作成し、H-E(吉木法)及び免疫染色を施し、光学顕微鏡及び蛍光顕微鏡にて観察のため、骨組織形態計測に供した。前脛骨筋及びヒラメ筋を採取し、筋重量を計測後、凍結切片を作成して免疫染色を行い、筋線維横断面積等の形態的計測を行った。

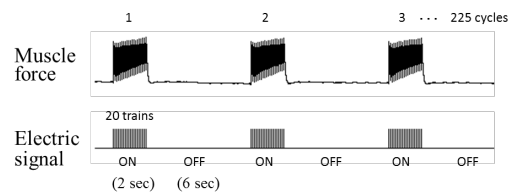


図1 電気刺激誘発性筋収縮による筋張力の発揮パターン。10Hzで2秒間刺激し、6秒間のインターバルで225サイクル実施する。

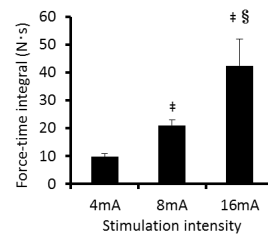


図2 各刺激強度で電気刺激誘発性筋収縮を30分間実施した時の力積。

4. 研究成果

若齢期において、除神経後1週間で筋量及び骨量は有意に低下することが確認できた。脛骨骨幹端部の骨量(BV/TV)の経時的变化は除神経後1週目から有意に減少し始め、3週目で最も低値を示した。電気刺激側では対側(CL)と比較して%BAは低値を示し、いずれの刺激強度でもCLと同等の骨量は維持し得なかった。一方、除神経後の電気刺激1週目においては、刺激強度16mA群(ES16)においては他の刺激強度群と比較して有意に骨量が高く、CLと有意な差がなかった。骨梁構造に関しても、骨梁の幅や連結性に関するパラメータは他の電気刺激群と比較して有意に高いレベルにあった。ES16では骨梁幅が維持されており、類骨幅もCLと比較して1週目では差がなく、3週目で有意に低値であった。各刺激条件で発揮された筋収縮張力及び30分間の力積は、いずれも16mA条件が最も高かった。

低頻度刺激による筋収縮張力では、収縮が加重しないため大きな張力を発揮しにくいだが、刺激強度16mAで誘発された筋収縮張力では、除神経後初期(～1週目)の急激な骨量低下を遅らせる効果が示唆された。特に、類骨形成を有意に低下させずに骨梁幅を維持する効果が認められた。除神経による不活動時の脛骨骨量低下を完全に防止する効果は希薄ではないかと考えられるが、電気刺激誘発性筋収縮力によるメカニカルストレスの有効性が示された。

また、皮質骨の力学的特性については、DN群ではMaximum load, stiffnessなどの力学的特性が対照群より有意に低値であり、DN+ES群ではDN群より有意に高いレベルにあった。一方、皮質骨構造であるtissue volume(TV), second moment of areaは3群間で有意な変化はなく、Cortical bone fractionはDNで低値を示したが電気刺激誘発性筋収縮の効果は見られなかった。骨密度はDN群で有意に低値を示したが、DN+ES群ではDN群より有意に高く、対照群と同レベルであった。骨細胞から分泌され石灰化に関連するdentin matrix protein (DMP)-1の発現はDN群よりもDN+ES群で有意に高かった。不動初期における骨強度の低下は、本研究で用いた条件での電気刺激誘発性筋収縮により軽減されるが、それは骨幹部皮質骨の量的及び構造的因子よりも、質的因子の改善による軽減の可能性が強いものと推察された。

次に、不動による骨量低下軽減に対して電気刺激効果が見られた刺激強度16mAを用いて、その効果が機械伸展活性化(SA)チャネルの阻害(streptomycin投与)により消失されるかを検討した。

若齢期において、除神経後に電気刺激誘発性筋収縮DN群は骨量が低下したが、DN+ES

群では有意な低下が見られず、骨梁3次元構造の連結性も維持されていた。また骨芽細胞による類骨形成も高かった。一方、DN+ES+St群では、これら電気刺激効果が減少し、Reduction ratioが64%であった。類骨幅、類骨層の骨細胞数(osteoid osteocyte)も、DNにより有意に減少するがDN+ESでは対照群と有意差のないレベルにあり、この効果はstreptomycin投与により半減した。

高齢期においても、DN群ではBV/TVは対照群より有意に低下した。DN+ES群の骨量及び骨梁構造はDN群より有意に高いレベルに維持された。3次元骨梁構造も同様に維持された。一方、DN+ES+Str群ではDN+ES群よりBV/TVが約30%低いレベルにあり、電気刺激誘発性筋収縮による骨量軽減効果は一部抑えられた。各骨梁構造パラメータに関してもReduction ratioは概ね30-50%程度であった。骨基質のDMP1のimmunoreactivityはDN群よりもDN+ES群で高く、DN+ES+Str群では減弱した。

総じて、不動による萎縮筋への16mA強度の電気刺激誘発性筋収縮は、骨量減少及び骨梁構造の悪化を軽減する効果が示唆された。またその効果は、機械伸展活性化チャネル阻害により強く阻害されたことから、電気刺激誘発性筋収縮の骨組織への効果発現は、機械的刺激に関連するメカノセンサーが関与しているとの推察された。

また若齢期同様に、高齢期の廃用性骨量低下は電気刺激誘発性筋収縮により完全に防止することはできないが、軽減する効果が得られた。さらにその効果は、Streptomycin投与と組み合わせることにより高齢期でも一部減弱することが示され、電気刺激誘発性筋収縮の力学的因子の関与が推察された。しかしながらその抑制率は、若齢期のもとと比較すると小さく、別因子の関連割合がより高齢では高い可能性も推察された。

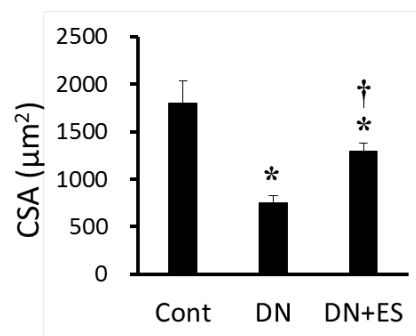


図3 不動による前脛骨筋の筋線維横断面積減少に対する16mA強度での電気刺激効果。

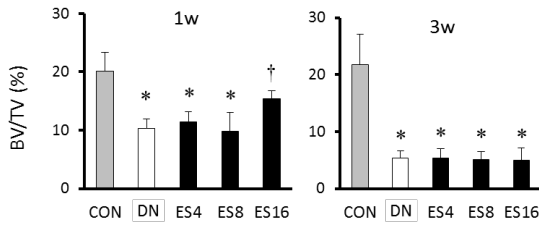


図 4 不動による脛骨骨量低下に対する各刺激強度での刺激効果 . 左: 不動 1 週目, 右: 3 週目 .

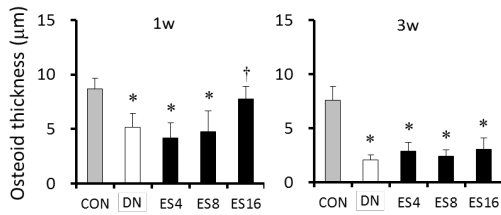


図 5 不動による類骨幅低下に対する各刺激強度での刺激効果 . 左: 不動 1 週目, 右: 3 週目 .

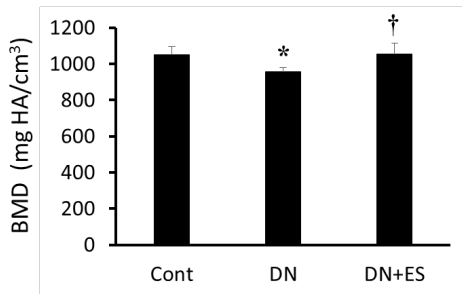


図 6 不動による骨密度(BMD)低下に対する 16mA 強度での電気刺激効果 .

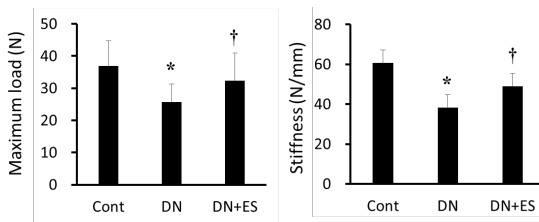


図 7 脛骨骨幹部の力学的特性(左: 破断強度, 右: スティフネス)に対する不動および電気刺激の効果 .

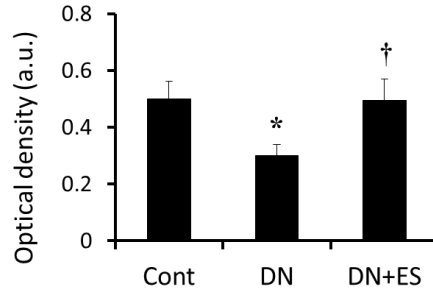


図 8 機械的刺激により骨細胞で産生が高まる DMP1 の immunoreactivity .

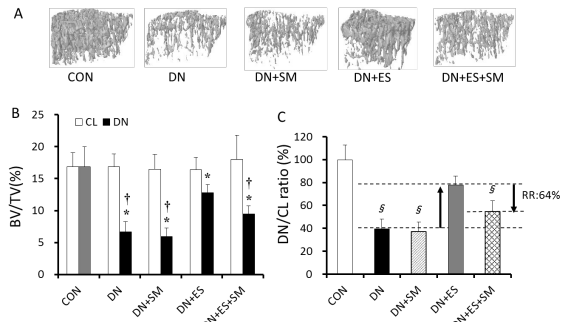


図 9 不動による骨梁構造変化(A)及び骨量低下に対する電気刺激効果並びに streptomycin の影響(B) .

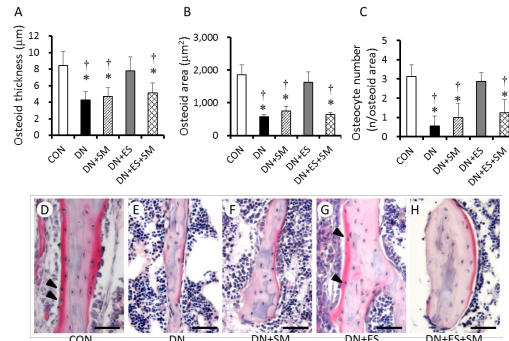


図 10 類骨幅(A), 類骨面積(B), osteoid-osteocyte 数(C) に対する電気刺激効果並びに streptomycin の影響及び組織染色像(D-H) .

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 22 件)

Tamaki H, Yotani K, Ogita F, Sugawara, K, Kirimoto H, Onishi H, Yamamoto N, Kasuga N. Effect of electrical stimulation-induced muscle force and streptomycin treatment on muscle and trabecular bone mass in early-stage disuse musculoskeletal atrophy. J Musculoskeletal Neuronal Interact, 15(3): 270-278, 2015. <http://www.ismni.org/jmni/Archive.php?year=20>

15 査読有

Kirimoto H, Miyaguchi S, Onishi H, Suzuki M, Sugawara K, Matsumoto T, Tamaki H. Plasticity of human motor associate and primary sensorimotor cortices induced by tDCS. *Adv Exerc Sports Physiol*. 21(3): 47-52, 2015. 査読無

Sugawara K, Onishi H, Tsubaki A, Takai H, Tokunaga Y, Tamaki H. Regional changes in cerebral oxygenation during repeated passive movement measured by functional near-infrared spectroscopy. *Frontiers in Human Neurosci*. 25: 1-9, 2015. doi:10.3389/fnhum.2015.00641. 査読有

Tamaki H, Tomori K, Yotani K, Ogita F, Sugawara K, Kirimoto 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(2), 220-228, 2014. <http://www.ismni.org/jmni/Archive.php?year=2014>. 査読有

Kirimoto H, Tamaki H, Suzuki M, Matsumoto T, Sugawara K, Kojima S, Onishi H. Sensorimotor modulation differs with load type during constant finger force or position. *PLoS ONE*, 9(9), 1-9, 2014. doi: 10.1371/journal.pone.0108058. 査読有

Kirimoto H, Tamaki H, Matsumoto T, Sugawara K, Suzuki M, Oyama M, Onishi H. Effect of transcranial static magnetic field stimulation over the sensorimotor cortex on somatosensory evoked potentials in humans. *Brain Stimul*, 7(6), 836-840, 2014. doi: 10.1016/j.brs.2014.09.016. 査読有

Sugawara K, Onishi H, Yamashiro K, Kojima S, Miyaguchi S, Kirimoto H, Tsubaki A, Tamaki H, Shirozu H, Kameyama S, The effect of anodal transcranial direct current stimulation over the primary motor or somatosensory cortices on somatosensory evoked magnetic fields. *Clin Neurophysiol*, 126(1), 60-67, 2015. doi: 10.1016/j.clinph.2014.04.014. 査読有

Tamaki H, Yotani K, Ogita F, Takahashi H, Kirimoto 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(3), 251-258, 2013. <http://www.ismni.org/jmni/Archive.php?year=2013>. 査読有

Yotani K, Tamaki H, Kirimoto H, Yuki A, Kitada K, Maesaka S, Ogita F. Response time and muscle activation patterns of the upper limbs during different strikes in kendo. *Archives of Budo*, 9, 101-107, 2013. doi: 10.12659/AOB.883904. 査読有

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, 142-146, 2013. doi:10.4236/wjns.2013.33018. 査読有

Onishi H, Sugawara K, Yamashiro K, Sato D, Suzuki M, Kirimoto H, Tamaki H, Murakami H, Kameyama S. Neuromagnetic activation following active and passive finger movements. *Brain and Behavior*, 3(2), 178-192, 2013. doi: 10.1002/brb3.126. 査読有

Sugawara K, Onishi H, Yamashiro K, Soma T, Kirimoto H, Tamaki H, Murakami H, Kameyama S. Repeated practice of a Go/NoGo visuomotor task induces neuroplastic change in the human posterior parietal cortex: an MEG study. *Exp Brain Res*, 226(4), 495-502, 2013. doi: 10.1007/s00221-013-3461-0. 査読有

Kojima S, Onishi H, Sugawara K, Kirimoto H, Suzuki M, Tamaki H. Modulation of the cortical silent period elicited by single- and paired-pulse transcranial magnetic stimulation. *BMC Neuroscience*, 14, 43, 2013. doi: 10.1186/1471-2202-14-43. 査読有

Onishi H, Sugawara K, Yamashiro K, Sato D, Suzuki M, Kirimoto H, Tamaki H, Murakami H, Kameyama S. Effect of the number of pins and inter-pin distance on somatosensory evoked magnetic fields following mechanical tactile stimulation. *Brain Res*, 1535, 78-88, 2013. doi: 10.1016/j.brainres.2013.08.048. 査読有

Sugawara K, Onishi H, Yamashiro K, Kirimoto H, Tsubaki A, Suzuki M, Tamaki H, Murakami H, Kameyama S. Activation of the human premotor cortex during motor preparation in visuomotor tasks. *Brain Topogr*, 26(4), 581-590, 2013. doi: 10.1007/s10548-013-0299-5. 査読有

〔学会発表〕(計 65 件)

田巻弘之, 與谷謙吾, 荻田太, 中川弘毅, 桐本光, 大西秀明, 春日規克, 下肢不動ラットにおける脛骨骨幹部の力学的特徴と筋電気刺激の効果. 第 70 回日本体力医学会大会(和歌山), 2015.9.18-20.

Ogita, F, Yotani K, Taguchi N, Tamaki H. The relationship between changes in brachial-ankle pulse wave velocity and blood pressure after short-term hypobaric hypoxic training. 20th Annual Congress of European College of Sport Science, 2015.6.24-27.

田巻弘之, 與谷謙吾, 荻田太, 中川弘毅, 桐本光, 大西秀明, 山本智章, 春日規克. 高齢期における不動性骨萎縮に対する電気刺激誘発性筋収縮の効果. 日本基礎理学療法学会第 20 回学術大会(横須賀), 2015.11.14-15.

松永拓朗, 田巻弘之, 中川弘毅, 早尾啓志, 與谷謙吾, 荻田太, 山本智章, 大西秀明. 不動初期の電気刺激誘発性筋収縮が脛骨骨幹部の力学的特性に及ぼす影響. 日本基礎理学療法学会第 20 回学術大会(横須賀), 2015.11.14-15.

中川弘毅, 田巻弘之, 早尾啓志, 與谷謙吾, 荻田太, 山本智章, 大西秀明. 伸張性筋収縮及び streptomycin 投与の脛骨骨量並びに三次元骨梁構造に及ぼす影響. 日本基礎理学療法学会第 20 回学術大会(横須賀), 2015.11.14-15.

田巻弘之, 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化チャンネルの関与. 第 22 回日本運動生理学会大会(倉敷), 58, 2014.7.

Tamaki H, Yotani K, Kirimoto H, Sugawara K, Tsubaki A, Onishi H, Yamamoto N, Kasuga N. Streptomycin inhibits effects of electrical stimulation-induced muscle force on reducing disused bone loss. 2014 Annual Meeting of American Society for Bone and Mineral Research, S259, 2014.9.

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, 256, 2014.9.

Ogita, F, Huang Z, Kurobe K, Ozawa G, Nagira A, Yotani K, Taguchi N, Tamaki H. Effects of sprint interval training on metabolic, mechanical characteristics and swimming performance. XIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming Handbook, 72-73, 2014.5.

Ogita F, Nagira A, Yotani K, Taguchi N, Tamaki H. Effects of repetitive short-term hypoxic training on metabolic risk factors. Book of Abstracts, 19th Annual Congress of European College of Sport Science, 449, 2014.5.

田巻弘之, 中川弘毅, 與谷謙吾, 荻田太, 菅原和広, 桐本光, 大西秀明, 山本智章, 春日規克. 機械伸展活性化チャンネル阻害は電気刺激誘発性筋収縮による不動性骨萎縮防止効果を減弱する. 第 4 回日本基礎理学療法学会大会(名古屋), 35, 2014.11.

Kirimoto H, Matsumoto T, Tamaki H, Suzuki M, Sugawara K, Onishi H. Short latency afferent inhibition differs with the load type when maintaining constant finger force or position. 9th Form of Neuroscience for Federation of European Neuroscience Societies, (Milan), 2014.7.

Kirimoto H, Tamaki H, Matsumoto T, Sugawara K, Onishi H. Effect of transcranial static magnetic field stimulation over the sensorimotor cortex on somatosensory evoked potentials in human. 30th International Congress on Clinical Neurophysiology, (Berlin), 2014.3.

Onishi H, Sugawara K, Miyaguchi S, Kojima S, Tsubaki A, Tamaki H, Suzuki M, Kirimoto H, Yamashiro K, Sato D, Maruyama A, Shirozu H, Kameyama S. Modulation of somatosensory evoked magnetic fields by the inter-stimulus interval of interfering stimuli. 30th International Congress on Clinical Neurophysiology, (Berlin), 2014.3.

田巻弘之, 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, 春日規克. 電気刺激強度依存性の筋収縮張力が denervation による脛骨骨量低下の軽減に及ぼす効果. 第 48 回日本理学療法学会(名古屋), 2013.5.

Tamaki H, Tomori K, Yotani K, Ogita F, Takahashi H, Kirimoto H, Onishi H, Yamamoto N, Kasuga N. Electrical stimulation of denervated rat skeletal muscle slows trabecular bone loss in early stages of disuse atrophy. 2nd Joint Meeting of the International Bone and Mineral Society (Kobe), BoneKey Reports, S56, 2013.5.

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 of European College of Sport Science (Barcelona), 384-385, 2013.6.

田巻弘之, 荻田太, 與谷謙吾, 柳楽晃, 菅原和広, 椿淳裕, 鈴木誠, 桐本光, 大西秀明, 幸 篤武, 山本智章, 春日規克. 低圧環境下での運動トレーニングが自然発症 2 型糖尿病ラットの脛骨骨梁構造に及ぼす影響. 日本基礎理学療法学会誌, 17, 29, 2013.10. (名古屋)

田巻弘之, 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(東京), 129, 2013.9.

田巻弘之. 低強度運動と筋骨格系. 第 22 回鹿児島スポーツ医学研究会(鹿児島), 10-11, 2014.2.

〔図書〕(計 2 件)

田巻弘之. ニュー運動生理学(), Section 6 運動と骨格, 3. 骨の形成と吸収. 真興交易医学出版部, 279-288, 2014.

田巻弘之. 健康スポーツ学概論. 運動生理学(筋骨格系, 神経系), 杏林書院, 64-73, 2013.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田巻弘之 (TAMAKI, Hiroyuki)
新潟医療福祉大学・医療技術学部・教授
研究者番号: 40253926

(2) 研究分担者

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
大西秀明 (ONISHI, Hideaki)
新潟医療福祉大学・医療技術学部・教授
研究者番号: 90339953
石道峰典 (ISHIDO Minenori)
大阪工業大学・工学部・講師
研究者番号: 80737536