

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：32663

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K10899

研究課題名(和文) スポーツ外傷リハビリ期における通電刺激による骨量維持法の開発と機序の解明

研究課題名(英文) Development of the bone mass maintenance method by the electricity stimulation in the sports external injury rehabilitation period and elucidation of the mechanism

研究代表者

大迫 正文(Ohsako, Masafumi)

東洋大学・ライフデザイン学部・教授

研究者番号：60152104

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、損傷したアスリートがリハビリ期間に運動せずに骨量を維持するための方法として、搬送波を用いた経皮通電刺激に着目し、より有効な通電条件について動物実験により検討した。鍼通電刺激は優れた骨量維持効果を示すが、経皮通電刺激でも身体部位による皮下組織の厚さの違いに関わらず、鍼通電刺激と同等の効果が認められた。また、その効果は、毎日だけでなく週に3日間の通電で得られることも示唆された。このように搬送波を用いた経皮通電刺激は、鍼通電刺激のように特殊な資格が不要であり、皮下組織の厚い部位でも有効で、さらに毎日行わなくても鍼通電刺激と同様な効果が得られることが理解された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

筋の疲労や痛みに対する経皮通電刺激の効果は、これまでも多くの研究がなされてきたが、骨量維持に関する効果については本研究がはじめて明らかにした。また、本研究はその効果的な方法論についても検討し、有効な方法を提言している。この経皮通電刺激は運動ができないリハビリ期のアスリートが、その後の競技復帰に向けて骨量を維持することにも役立つ。このようなところに本研究の学術的および社会的な意義があると思われる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we focused on a transcutaneous electrical stimulation using a carrier wave as a method for injured athletes to maintain bone mass without exercising during the rehabilitation period, and investigated more effective conditions of the electrical stimulation in the animal experiments. The electrical acupuncture stimulation had already showed an excellent effect on the bone mass maintenance effect, but the transcutaneous electrical stimulation also showed the same effect as the acupuncture energization regardless of the difference in the thickness of the subcutaneous tissue depending on the body part. It was also suggested that the effect could be obtained by the electrical stimulation for 3 days a week, if not daily.

研究分野：健康科学、解剖・組織学

キーワード：ラット 下肢骨 鍼通電刺激 経皮通電刺激 搬送波 種々な通電条件

報告書：スポーツ外傷リハビリ期における通電刺激による骨量維持法の開発と機序の解明

1. 研究開始当初の背景

今日、受傷したスポーツ競技者は、競技に速やかに復帰するために、受傷直後から患部の治療と同時に、患部外のトレーニングも開始することがしばしば行われている。しかし、リハビリ期にはある程度の安静も必要であり、また、その時期に運動を行っても負荷の強度や頻度の面で限界がある。受傷後の安静に伴う運動刺激の減少によって、運動器の強度や抵抗性が低下し、競技復帰後に受傷部位やその他の部位における損傷再発の危険性が高まる。近年、鍼通電刺激によって骨量を維持する方法が検討され、現在では未だ動物実験の段階であるが、その効果が示されている（Nakai, 2016）。しかし、鍼通電刺激では鍼灸針を電極として用いるために、それを行うには特殊な資格が必要となる。また、一般に鍼通電刺激に用いられている既存の低周波刺激装置で経皮的な通電刺激を行うと、体表に貼った電極からの電流が皮下組織によって妨げられ、骨量維持の効果は期待できないとされている（中井, 2017）。一方、通電の直流に搬送波を併せることによって、深部にまで刺激が到達する低周波装置が開発された。そのため、この装置の利用によって、従来の装置ではなし得なかった骨への通電効果が期待されている。しかし、その装置を用いた経皮的な通電刺激の効果は、鍼通電刺激と同様か否か、また、皮下組織の厚さに関わらずに同様な効果が得られるか。さらに、将来的にこの経皮通電刺激を臨床に応用した場合、毎日行わなくても有効か否か、という問題が浮上してきた。

2. 研究の目的

本研究では上記の搬送波を用いた装置を使用し、次のような3つの動物実験によって経皮通電刺激の有効性ならびにより有効な通電条件について検討することを目的とした。

- ①鍼通電および経皮通電刺激の効果の比較
- ②皮下組織の厚さが異なる部位における経皮通電刺激の効果の比較
- ③異なる介入頻度の通電刺激の効果の比較

3. 研究の方法

以下に、上記①～③の研究の方法を示す。

①鍼通電および経皮通電刺激の効果の比較

7週齢のウィスター系雄性ラット48匹を用い、それらを後肢懸垂群 HS、後肢懸垂・鍼通電刺激群 EA、後肢懸垂・経皮通電群 TE および対照群 CO の4群に分類した。CO以外の3群、すなわち HS、EA および TE は、通常より20cm高い天井のケージを用意し、その天井から尾部を2週間吊した。EA は、低周波刺激装置（三景社製、Lasper-A）を用い、麻酔下で鍼灸針を大腿の内外面に刺入して通電した。通電条件は、0.24mA, 50Hz, 250μsec の交流で、10分/日、5日/週、2週間とした。TE は大腿前面を剃毛し、搬送波を用いた低周波治療器（大島製作所社製、BioTraner I）により、大腿表面からパッドによる通電刺激を行った。通電刺激の条件は、60V、周波数50Hz、200μsec の直流電気、搬送波周波数を80kHzとし、10分/日、5日/週、2週間とした。実験期間終了後、

各群のラットを炭酸ガス吸引により安楽死させ、後肢の皮を剥離して大腿骨を摘出し、種々な標本を作製して、組織学的に分析した。

②皮下組織の厚さが異なる部位における経皮通電刺激の効果の比較

7週齢のウィスター系雄性ラット32匹を用い、それらを後肢懸垂群HSと、後肢懸垂と経皮通電を行う群TEおよび対象群COに分類した。TEはさらに下腿前面刺激群ANと下腿後面刺激群POに分類した。CO以外の群は2週間後肢懸垂した。ANとPOはそれぞれ下腿前面および後面から低周波治療器(大島製作所製、BioTrainer I)により電気刺激(60V、周波数31Hz、200msec)を、10分/日、5日/週、2週間与えた。実験期間終了後、各群を安楽死させた後、脛骨を摘出し、種々の標本を作製して組織学的に観察した。

③異なる介入頻度の通電刺激の効果の比較

7週齢のウィスター系雄性ラット48匹を用い、それらを後肢懸垂群(HS)、後肢懸垂と同時に経皮通電刺激を施した群(TE)および対照群(CO)に分類した。さらに、TEは介入頻度の違いから、週に1回(TE1)、3回(TE3)および5回(TE5)通電刺激を行う群に分類した。HSおよびTEはケージ内で2週間後肢懸垂し、TEには大腿前面から経皮的に通電刺激(直流、電圧60V、周波数31Hz、200μsecおよび周波数80kHzの搬送波)を10分/日、2週間行った。実験期間終了後、各群のラットから大腿骨を摘出し、組織学的観察を行った。

4. 研究成果

以下に、上記①～③の研究成果を示す。

①鍼通電および経皮通電刺激の効果の比較

COおよびEAの骨梁表面にはTRAP反応陽性細胞がほとんど存在しなかったが、HSおよびTEではかなり多く観察された。(図1) COおよびEAにおける二次海綿骨の骨密度は、HSより有意($p < 0.05$)に高値を示した。(図2-1、2-2) HSやTEの二次海綿骨の骨梁は、COおよびEAに比べて細かった。(図3)

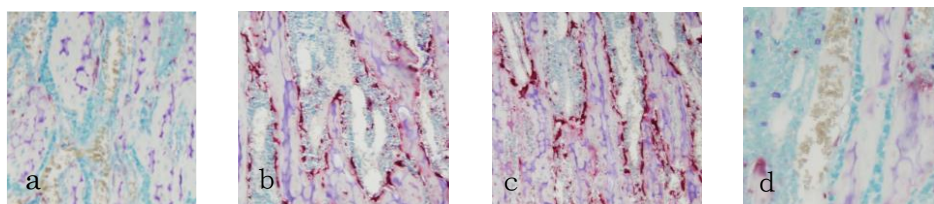


図1. 二次海綿骨における骨梁表面の吸収像 (TRAP染色) a: CO, b: HS, c: TE, d: EA

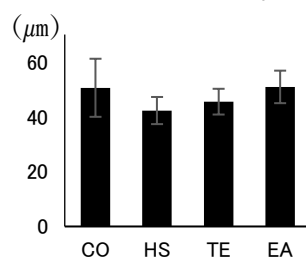


図2-1. 各群における海綿骨の骨梁幅

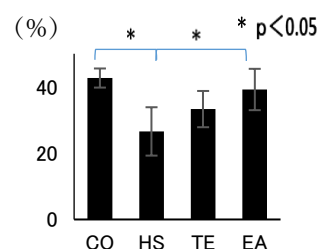


図2-2. 各群における海綿骨の骨量

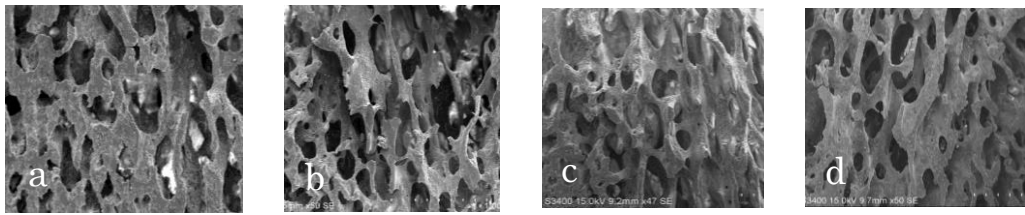


図3. 各群の二次海綿骨の骨梁の太さと密度（走査電子顕微鏡像） a: CO, b: HS, c: TE, d:EA

【結論】 加重低減に伴う皮質骨の骨量減少は、鍼および経皮通電刺激のいずれも抑制したが、骨内部に存在する海綿骨へは鍼通電の方がより有効であることが理解された。

②皮下組織の厚さが異なる部位における経皮通電刺激の効果の比較

HSはCOに比べて皮質骨骨膜面および骨内膜面に多くの吸収像が認められた。それに対して、ANとPOでは吸収が抑制され、特にANでは皮質骨の骨内膜面でも骨吸収の顕著な抑制が認められた。（図4） 二次海綿骨の骨梁はHSが最も少なく、COやANでは骨梁が多く存在し、POがそれに次いでいた。（図5） 骨内膜面の海綿骨の状況についても、骨膜面の場合と同様に、いずれの骨梁表面にも吸収窩が存在した。しかし、後肢懸垂を行っていないCOは少なく、HSが最も多かった。骨梁の太さ、密度に関してはCOが最も高い状態にあった。（図6）

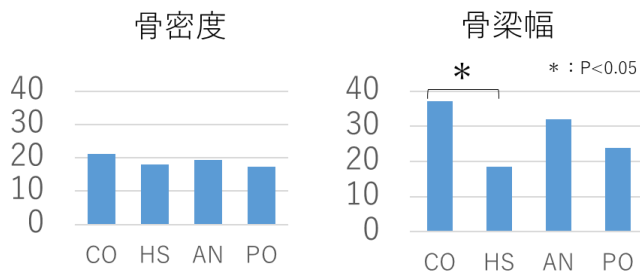


図4. 各群の二次海綿骨における骨量の系系側の結果 骨密度（左）および骨量幅（右）の比較

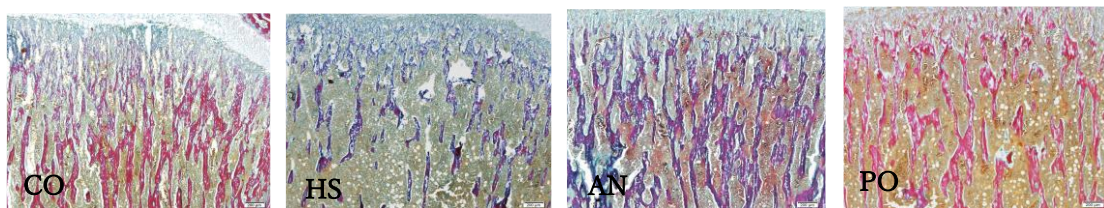


図5. 各群の二次海綿骨の構造（ポリクローム染色）

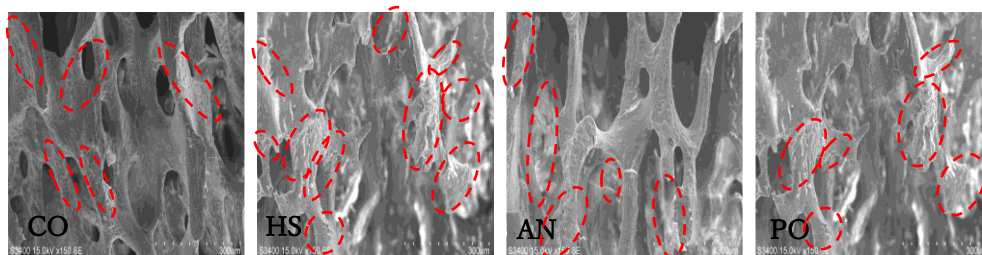


図6. 二次海綿骨の骨梁表面における吸収窩の量の比較（走査電子顕微鏡像）

赤いサークルは吸収窩の存在部位を示す。

【結論】 搬送波を用いた通電刺激は、皮下組織の厚さに関わらず皮質骨および海綿骨に有

意な骨量維持効果を有するが、皮下の軟組織の厚い部位の海綿骨ではその効果は低減することが理解された。

③異なる介入頻度の通電刺激の効果の比較

次亜塩素酸ナトリウム処理した大腿骨遠位部外面の皮質骨を肉眼的に観察すると、いずれの群もそこは滑沢であった。(図7) この部位を走査電子顕微鏡で拡大して観察すると、いずれの群の表面も全体的に粗造な状態にあった。しかし、各群の骨表面を詳細に観察すると、COでは比較的滑沢な部位が多く、そのような部位は介入頻度がTE1からTE5へと介入頻度が増加するのに伴って増加した。(図7)

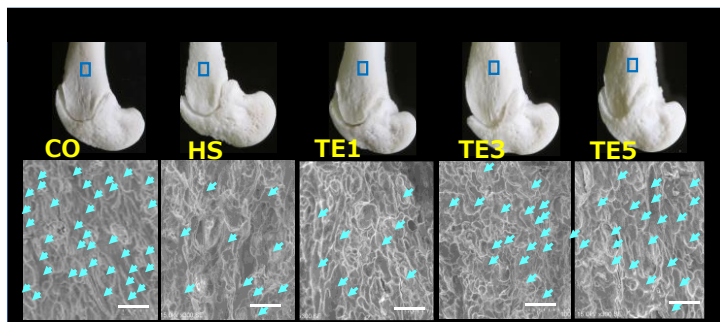


図7. 大腿骨遠位部の外面の構造 (上段:肉眼観察像、下段:走査電子顕微鏡像)

次亜塩素酸ナトリウム処理した各群の大腿骨内面を肉眼的に観察すると、骨幹端に海綿骨が認められ、その骨梁の構造には群間で顕著な差が観察されなかった。それらをSEMで拡大して観察すると、COでは、太い骨梁が多く認められるが、HSおよびTE1の骨梁は細かった。また、TE1からTE3、さらにTE3からTE5になるのに伴って骨梁の密度が増した。また、骨梁の配列方向もT3からT5になるのにしたがって規則的となり、COに類似した構造を示すようになった。(図8)

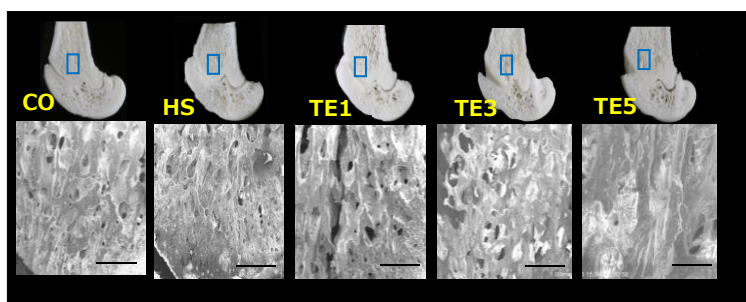


図8. 大腿骨遠位部骨幹端における海綿骨構造 (上段:肉眼観察像、下段:走査電子顕微鏡像)

【結論】 ラット後肢懸垂によって大腿骨の海綿骨には骨量減少が生じるが、それは週に3回以上の経皮通電刺激によって抑制されることが示唆された。

【研究成果の総括】

皮質骨に関しては鍼および経皮通電ともに明瞭な骨量維持効果を示したが、骨内部の海綿骨では鍼通電刺激で顕著な効果が認められた。また、搬送波を用いた低周波刺激装置による経皮通電刺激は、皮下組織の厚さに関わらず、顕著な骨量維持効果をもたらした。さらに、3/週以上の通電刺激によって、加重低減による骨量減少への有効な抑制効果を示すことが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Mochizuki M., Kobayashi M., Ohsako M.	4. 巻 15
2. 論文標題 Effects of transcutaneous electrical stimulation of different voltage on structure of femur in hind-limb suspended rats	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal Human Life design	6. 最初と最後の頁 131-140
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Minamizono W., Zeng X.Q., Suitou H., OHSAKO M	4. 巻 15
2. 論文標題 Study in effects of transcutaneous electrical stimulation of different intervention frequency on bone structures in hindlimb-suspended rats	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bull. Grad. Sch. Toyo Univ.	6. 最初と最後の頁 173-184
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mochizuki, M., Kobayashi, M., Ohsako, M.	4. 巻 15
2. 論文標題 Study in effects of acupuncture and transcutaneous electrical stimulations on structure of tibial articular cartilage in tail-suspended rats	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J.Human Life design	6. 最初と最後の頁 195-203
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi, M., Mochizuki, M., Ohsako, M.	4. 巻 15
2. 論文標題 Effects of transcutaneous electrical stimulation of different voltage on structure of femur in hind-limb suspended rats	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J.Human Life design	6. 最初と最後の頁 131-140
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中井真悟, 本澤光則, 大迫正文	4. 巻 27
2. 論文標題 発育に伴うラット大腿骨の構造と骨強度の変化に関する研究.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 整復接骨医学会雑誌	6. 最初と最後の頁 69-75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakai, S., Kira, Y., Ohsako, M.	4. 巻 55
2. 論文標題 Study in bone structure of tendon attaching portion and	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of Graduate School of TOYO univ.	6. 最初と最後の頁 121-128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 望月将希, 小林宗弘, 大迫正文	4. 巻 14
2. 論文標題 加重低減に伴うラット大腿骨の骨量減少に対する鍼および経皮通電刺激の効果に関する研究.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ライフデザイン学研究	6. 最初と最後の頁 101-109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 曾 雪信, 水藤飛来, 南園 航, 大迫正文
2. 発表標題 運動および電気刺激が後肢加重低減ラット脛骨関節軟骨の構造に及ぼす影響に関する研究.
3. 学会等名 第38回日本骨代謝学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南園 航、曾 雪倩、水藤飛来、岩本紗由美、大迫正文
2. 発表標題 ラットの後肢懸垂に伴う大腿骨の構造変化と経皮通電刺激の頻度との関連性.
3. 学会等名 第38回日本骨代謝学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南園 航、曾 雪倩、水藤飛来、大迫正文
2. 発表標題 後肢懸垂ラットにおける異なる頻度の経皮通電刺激がラット大腿骨の骨構造に及ぼす影響に関する研究
3. 学会等名 第126回日本解剖学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 望月将希、小林宗弘、蓼沼郁夫、曾 雪倩、中井真悟、鈴木哲郎、大迫正文
2. 発表標題 経皮通電刺激が後肢懸垂ラットの異なる部位の骨構造に及ぼす影響
3. 学会等名 日本体力医学会第74回 大会(つくば市)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林宗弘、望月将希、蓼沼郁夫、曾 雪倩、宇南山 伸、鈴木哲郎、大迫正文
2. 発表標題 異なる周波数の経皮通電刺激が後肢懸垂ラット大腿骨の構造に及ぼす影響
3. 学会等名 日本体力医学会第74回 大会(つくば市)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水藤飛来、石垣智恒、古沢夏海、古谷啓登、中井真悟、大迫正文
2. 発表標題 発育期ラット脛骨における膝蓋靭帯附着部位の構造変化
3. 学会等名 日本体力医学会第74回 大会（つくば市）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古沢夏海、古谷 啓登、水藤飛来、荒木美智子、大迫正文
2. 発表標題 ラット脛骨近位骨端板における軟骨の細胞および基質に及ぼす跳躍運動の影響
3. 学会等名 日本体力医学会第74回 大会（つくば市）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水藤飛来、中井真悟、大迫正文
2. 発表標題 上り下りのトレッドミル走による運動刺激がラット脛骨粗面部の構造に及ぼす影響
3. 学会等名 第28回柔道整骨接骨医学会（東京）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 曾 雪倩、水藤飛来、鈴木哲郎、大迫正文
2. 発表標題 後肢加重低減による膝関節構成体の構造変化に及ぼす他動運動の影響
3. 学会等名 第125回日本解剖学会（誌上発表）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水藤飛来、曾 雪倩、鈴木哲郎、大迫正文
2. 発表標題 走運動に伴う発育期ラット膝蓋靭帯附着部の構造変化に対するアイシングの影響
3. 学会等名 第125回日本解剖学会 (誌上発表)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋歩未、太田菜月、鈴木哲郎、大迫正文
2. 発表標題 発育期ラット脛骨骨端板の構造および一次海綿骨の構造に及ぼす走運動の影響
3. 学会等名 第125回日本解剖学会 (誌上発表)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中井真悟、宇南山 伸、大迫正文
2. 発表標題 非加重条件下のラット大腿骨の構造に及ぼす鍼通電刺激の影響.
3. 学会等名 第67回全日本鍼灸学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nakai S., Ohsako M.
2. 発表標題 Comparison of effects of various electrical stimulating methods on
3. 学会等名 The 23th Annual Congress of European Collage of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中井真悟、宇南山 伸、岡本岳大、大迫正文
2. 発表標題 発育に伴うラット大腿骨遠位幹端部の骨折線の形状変化と骨構造との関連性.
3. 学会等名 日本体力医学会第73回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒木美智子、中井真悟、大迫正文
2. 発表標題 発育期ラット脛骨骨端板の荷重抵抗性を高める構造変化
3. 学会等名 日本体力医学会第73回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 望月将希、中井真悟、荒木美智子、大迫正文
2. 発表標題 後肢懸垂ラットの骨量に及ぼす鍼および経皮通電刺激の効果に関する研究.
3. 学会等名 日本体力医学会第73回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 望月将希、小林宗弘、中井真悟、曾 雪倩、鈴木哲郎、大迫正文
2. 発表標題 後肢懸垂ラットにおける脛骨関節軟骨の構造に及ぼす通電刺激の効果.
3. 学会等名 第124回日本解剖学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林宗弘、望月将希、中井真悟、大迫正文
2. 発表標題 異なる電圧の経皮通電刺激が加重低減中のラット大腿骨の構造に及ぼす影響.
3. 学会等名 第124回日本解剖学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	柴田 俊一 (Shibata Shunnichi) (80187400)	東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・教授 (12602)	
研究分担者	中井 真悟 (Nakai Shingo) (10825540)	常葉大学・健康プロデュース学部・助教 (33801)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------