

Evaluation of the osteogenic effect of electric muscle stimulation using finite element method

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/17003

骨格筋電気刺激による骨形成促進効果に関する研究

瀧本貴友¹，田中茂雄²

¹金沢大学工学部人間・機械工学科

²金沢大学環日本海域環境研究センター生体機能計測研究部門

T. Takimoto and S.M. Tanaka

Evaluation of the osteogenic effect of electric muscle stimulation using finite element method

1. 緒言

骨粗鬆症予防には運動による骨への力学刺激が有用であるが，運動が困難な方々が多くいることも現状である．そこで，筋への電気刺激により生じる筋収縮力で骨をひずませ，これにより実際に運動をすることなしに骨を力学的に刺激する方法を提案した．後肢懸垂ラットを用いた検証実験の結果，大腿四頭筋への電気刺激により後肢懸垂で生じる大腿骨での骨量減少を抑制できることを確認した⁽¹⁻²⁾．一方，骨への直接的な電気刺激により骨形成が促進されることを示す報告⁽³⁾があることから，本法においても骨へ電流が流れることで骨形成が促進された可能性も考えられる．そこで本研究では，ラット大腿四頭筋への電気刺激によりどの程度の電流密度が大腿骨で生じるかを有限要素法により解析し，骨内電流による直接的な骨形成刺激の可能性を検討した．

2. 有限要素解析

有限要素解析プログラムには ANSYS ver. 11 を使用した．解析モデルは，大腿部を円柱状 ($\phi 10 \times 25$ mm) に模したものであり，内部は皮膚 (厚さ 1 mm)，大腿筋 (外径 $\phi 8$ mm)，大腿骨皮質 (外径 $\phi 3$ mm)，および骨髄 ($\phi 1.8$ mm) で構成されている (図 1)．また針電極 ($\phi 0.45 \times 7$ mm) は，大腿部中心から 3 mm 離れた位置に骨軸に垂直に 10 mm 間隔で配置した．各組織の電気抵抗率は文献より得られたヒトのものを用い⁽⁴⁾，また，針電極についてはステンレスの電気抵抗率を与えた (表 1)．針電極間には，2 kHz， ± 1 mA peak-to-peak の交流電流を与え，その際生じる各組織内の電流密度分布および平均・最大電流密度を 3 次元定常電流解析により求めた．なお，この筋への電気刺激条件は前述の後肢懸垂ラットを用いた実験⁽¹⁻²⁾での条件に準じている．三次元メッシュモデルの要素タイプは六面体要素であり，要素数は 92696 とした．

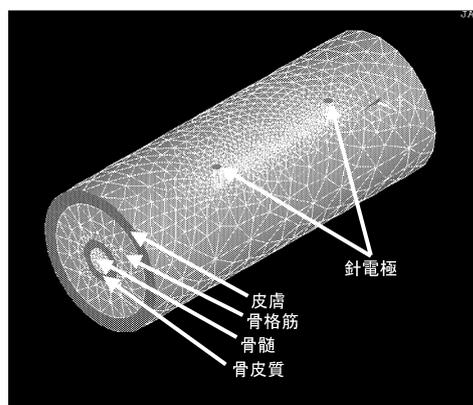


図 1 3次元有限要素メッシュモデル

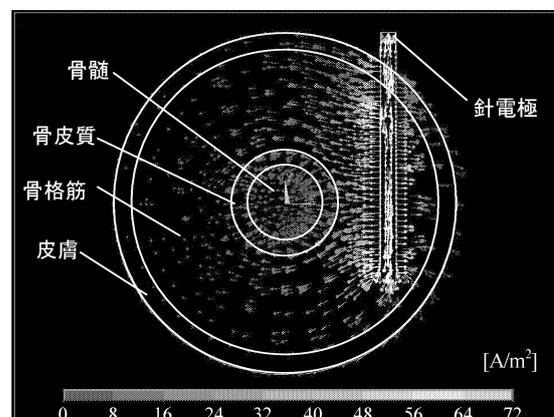


図 2 電極位置横断面での電流密度ベクトル図

3. 結果及び考察

図 2 に電極位置横断面での電流密度ベクトル図を示す。電流密度値は電極付近において高く、また骨を取り囲むように電流が骨格筋内を流れることがわかった。骨格筋内においては電極付近が最も大きな電流密度が生じ、電極間において比較的大きな電流密度分布が見られた。なお、電極側と比べると反対側の骨格筋での電流密度は小さかった。骨皮質内における電流密度分布は骨格筋内のそれと同様の傾向を示していた。一方、骨髄内においては、電極間の中心で最も大きな電流密度が生じていた。これは、周りを電気抵抗率の高い骨皮質で覆われていることに起因しているものと思われる。表 1 に各組織の平均・最大電流密度を示す。電流密度は平均値および最大値ともに、骨皮質、骨髄、皮膚、骨格筋の順に大きくなった。従来報告されている骨形成を促進させる電流密度値は、 $0.02^{(5)}$ 、 $0.2^{(6)}$ 、または $0.5^{(3)}$ A/m² であり、いずれも本解析より得られた骨皮質内の平均・最大電流密度値 (0.71 A/m², 3.15 A/m²) よりも大きい。すなわち、本実験条件下では、骨形成を刺激するに十分な大きさの電流密度が大腿骨皮質内に生じると言える。このことは、前述の電氣的筋収縮制御の骨量減少抑制効果には、力学刺激効果のほかに骨への直接的な電気刺激効果が含まれることを示している。

表 1 各組織の電気抵抗率と平均・最大電流密度値

組織	電気抵抗率 (Ω m)	電流密度 (A/m ²)	
		平均	最大
骨髄	1.55	3.68	8.76
骨皮質	18	0.71	3.15
骨格筋	1.1	17.12	143.07
皮膚	2.89	8.44	64.67
針電極	7.2×10^{-7}		

4. 結言

本研究では、電氣的筋収縮時において生じる骨皮質内の電流密度を有限要素法により解析した。解析結果から、同法の骨量減少抑制効果には、筋収縮を通じて間接的に骨へ与えられる力学刺激効果のほかに、骨に流れる電流による直接的な刺激効果も含まれる可能性が示された。

参考文献

- (1) 田中茂雄 他：日本機械学会北陸信越支部第 44 期総会・講演会講演論文集，077-1：339-340，2007
- (2) 近藤香菜子 他：日本生体医工学会誌生体医工学，45(Suppl. 1)：212，2007
- (3) Zengo AN: J Dent Res, 55(3): 383-389, 1976
- (4) GEDDES LA et al., Med & Biol Eng, 5: 271-293, 1967
- (5) Joseph A: Bioelectromagnetics, 18: 193-202, 1997

謝辞

本研究の一部は、財団法人立石科学技術振興財団平成 19 年度研究助成の支援を受け行われた（登録番号：1071016）