

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24659887

研究課題名(和文) マイクロマシン技術を導入した非接触駆動による体内埋込機器を用いた骨膜伸展骨形成法

研究課題名(英文) The periosteal expansion osteogenesis method employing an in-body embedded device with non-contacting drive which has the micromachine technology installed

研究代表者

杉山 円 (Sugiyama, Madoka)

東京大学・医学部附属病院・助教

研究者番号：90451814

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：水晶振動子を用いた非接触検出型力センサおよび非接触型骨拡張デバイスを開発し、非接触型骨拡張デバイスの高出力化の検討を行った。駆動実験においてアクチュエータの動作が確認できた。更なる追実験を行うことで、アクチュエータ性能のより向上を図り、骨・骨膜間に生じる応力を検出することにより骨膜伸展の制御を行う。

研究成果の概要(英文)：We aimed at pioneering the bone augmentation method with high precognition and safety by developing the periosteal expansion osteogenesis method with an in-body embedded type non-contacting drive device using a micro-actuator. The non-contacting detection type power sensor using quartz crystals and the non-contacting type bone extension device were developed, and the output enhancement of the non-contacting type bone extension device was considered. The validation of the actuator has been checked in a driving experiment. The improvement of the actuator performance is aimed at by conducting further experiments, and the periosteum expansion is controlled by detecting the stress produced between the bone and the periosteum.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・外科系歯学

キーワード：医用マイクロマシン

1. 研究開始当初の背景

骨組織は解剖学的に骨膜と呼ばれる結合組織に囲まれている。骨の成長は、骨膜で生じるため、骨膜は骨よりも細胞成分に富んでいる。また、血管と共にコラーゲン線維からなる粗性結合組織を豊富に含んでいる。我々は、以前より骨膜の骨形成能に注目し、現在では、骨・軟骨再生医療の臨床応用を進めている。これまでの研究から、骨膜由来細胞が骨・軟骨形成に必須である細胞増殖・分化に大きく関与していることが示唆されている。

骨膜伸展骨形成法は、骨延長法と同様に骨形成が期待できる骨増生法であり、骨ではなく“骨膜”を伸長することによる新生骨を形成する膜性骨化様式を応用した骨造成法である。-TCP ブロックとスクリューを用いた骨膜伸展骨形成法などが報告されている。しかし、手で直接操作を行うため、装置を体外に交通させる必要があり、患者にとって多大な負担となり、感染のリスクも高い。

一方、マイクロマシンなどマイクロアクチュエータの新材料の出現や加工法の発展、急速な進歩により、既存の技術では実現することができない技術的問題が解決されつつある。マイクロマシン技術とは、メカニクス(機械工学)、エレクトロニクス(電子工学)をはじめとして、化学、物理学、光学、生物学、医学などの広範な分野からなる技術体系である。微細で複雑な作業を行うために数 mm 以下の高度な機能要素から構成された微小な機械を「マイクロマシン」と定義される。

骨膜伸展骨形成法は、このようなマイクロマシン技術による制御手法の特徴を生かせる分野である。マイクロマシン研究は産学官連携体制で研究開発が進められ、日本が世界に先行している領域である。

本研究では、装置を体外に交通させ、手で操作するのではなく、外部磁場コイルを複数用いることによって、非接触で揺動運動を制御する体内埋込型駆動装置とし、コンピュータ制御により骨膜を伸長することにより新生骨の形成を行なう。体内に埋め込む装置内には電源を一切持たず、外部からの磁場制御により駆動する機構であり、装置の暴走や電解液の漏洩などの問題はない。

2. 研究の目的

骨膜伸展骨形成法は、骨膜を伸長することによって新生骨を形成する膜性骨化様式を応用した骨造成法である。この方法を微小な機械(マイクロマシン)で制御できれば、多くの領域において新たな骨造成法として確立できる。

本研究では、マイクロアクチュエータを用いた体内埋込型非接触駆動装置による骨膜伸展骨形成法を開発することにより、予知性・安全性の高い骨造成法を開拓することを目的としている。さらに、マイクロ応力センサを導入し、骨・骨膜間に生じる応力を検出することにより骨膜伸展の制御を行う。この

ような異分野融合型次世代デバイスはブレイクスルーを生み出す未来の新しい治療環境を実現する可能性がある。

3. 研究の方法

マイクロマシン技術を用いて作製した外歯車と内歯車による減速機構を構成し、並進揺動運動を行わせる内歯車を作製した。外部との交通をなくし、装置を生体埋込み型とし、非接触のまま生体外より制御した。

外部磁石を駆動源に用いて、外部磁石の位置を制御することにより非接触で体内埋込装置を駆動させた。外部磁石を 90 度ステップで回転させることで、内歯車を揺動運動させて駆動した。

ねじ送り機構の駆動方法として、シンプルな構造で大きな減速比を得ることができるサイクロイド減速機構を用いた。外歯車にはシャフトが連結されており、軸方向以外の回転運動は拘束されていた。シャフト部には移動体に取り付けられており、シャフトが回転することで移動するねじ送り機構を用いた。

装置の出力方向の変位をレーザー変位計によって測定した装置の出力方向に負荷を与え、駆動力の測定を行なった。

4. 研究成果

水晶振動子を用いた非接触検出力センサおよび非接触型骨拡張デバイスを開発し、非接触型骨拡張デバイスの高出力化の検討を行なった。駆動実験においてアクチュエータの動作が確認できた。今後は、更なる追実験を行うことで、アクチュエータ性能のより向上を図り、骨・骨膜間に生じる応力を検出することにより骨膜伸展の制御を行なう。

また、非侵襲型骨延長デバイスの駆動方法として、径方向に着磁した永久磁石を用いる手法を提案した。静磁場解析により、XY 方向に円状の力の分布が得られることを求め、また実際の力計測により同様の傾向を確認した。駆動実験において、従来手法に比べ 1.20 倍の力を得られることを確認した。歯車部品の追加工により駆動が改善するなど、各部品の寸法の最適化が不十分であると考えられた。幾つかの試作機による実験および改良によって、非接触駆動に成功しており、今後は、骨膜伸展骨形成法に応用するために、更なる追実験を行ない、アクチュエータの出力向上や、小型化を行なう。

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 5 件)

Uchiho T, Uzuka K, Suenaga H, Morita T. Non-contact detection of external force using quartz crystal resonator. Jpn J Appl Phys (in press) [査読有]

Kadota Y, Inoue K, Uzuka K, Suenaga H, Morita T. Non-contact Operation of a Miniature Cycloid Motor by Magnetic Force. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. 18(5):1563-1571, 2013, doi: 10.1109/TMECH.2012.2208225 [査読有]

Matsuzaki Y, Kadota Y, Inoue K, Uzuka K, Suenaga H, Sasaki K, Morita T. Non-contact actuation of less-invasive bone lengthening device using embedded cycloidal motor driven by permanent magnets from the outside. Key Engineering Materials. 523-524:722-726, 2012, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.523-524.722 [査読有]

Sugiyama M, Saijo H, Hoshi K, Ohkubo K, Mori Y, Takato T. Secondary repair of an oblique facial cleft with an absorbable mesh tray and particulate cancellous bone and marrow. Oral Sci Int. 2012 Nov; 9(2):63-66, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1348-8643\(12\)00030-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1348-8643(12)00030-4) [査読有]

齊藤健太郎, 末永英之, 杉山円, 宇波雅人, 大久保和美, 瀬戸一郎, 小笠原徹, 星和人, 森良之, 高戸毅. 革新的異分野技術を融合した歯科を主導とする次世代デバイス開発プロジェクト. 日本歯科医学会誌 31:39-43, 2012 [査読有]

[学会発表](計7件)

内保徹平, 宇塚和夫, 末永英之, 森田剛. 水晶振動子を用いた非接触検出力センサ. 第34回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, 2013年11月20日, 同志社大学, 京都

Uchino T, Uzuka K, Suenaga H, Morita T. Study of non-contact force sensor using quartz crystal resonator and a pair of spiral coils. International Conference on Advanced Electromaterials (ICAE 2013), November 12, 2013, Jeju, Korea, International Convention Center Jeju

杉山円, 西條英人, 菅野勇樹, 末永英之, 森良之, 星和人, 高戸毅. 再建顎に併用したチタンメッシュトレイと腸骨海綿骨移植による in situ tissue engineering の臨床経験. 第12回日本再生医療学会総会, 2013年3月21-23日, パシフィコ横浜, 神奈川

杉山円, 西條英人, 瀬戸一郎, 末永英之,

阿部雅修, 星和人, 森良之, 高戸毅. チタンメッシュトレイを用いた海綿骨細片(PCBM)による二次的下顎顎骨再建後にインプラントを用いて咬合回復を行なった1例. 第67回 NPO 法人日本口腔科学会学術集会, 2012年5月17-18日, 広島国際会議場, 広島

内保徹平, 宇塚和夫, 末永英之, 森田剛. 水晶振動子の非線形弾性率を用いた非接触力センサ. 第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 2013年5月15-17日, 箱根ホテル小涌園, 箱根

横瀬誉実, 宇塚和夫, 末永英之, 佐々木健, 森田剛. 非接触型骨拡張デバイスの高性能化の検討. 第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 2013年5月15-17日, 箱根ホテル小涌園, 箱根

Matsuzaki Y, Kadota Y, Uzuka K, Suenaga H, Sasaki K, Morita T. Non-Contact Actuation of Less-Invasive Bone Lengthening Device Using Embedded Cycloidal Motor Driven by Permanent Magnets from the outside. The 14th International Conference on Precision Engineering, November 8-10, 2012, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan, Awaji Yumebutai International Conference Center

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)
取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://plaza.umin.ac.jp/~oralsurg/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉山円 (SUGIYAMA, Madoka)
東京大学・医学部附属病院・助教
研究者番号: 90451814

(2) 研究分担者

末永英之 (SUENAGA, Hideyuki)
東京大学・医学部附属病院・特任講師
研究者番号: 10396731

森田剛 (MORITA, Takeshi)
東京大学・新領域創成科学研究科・准教授
研究者番号: 60344735

森良之 (MORI, Yoshiyuki)

東京大学・医学部附属病院・准教授
研究者番号：70251296

(3)連携研究者

高戸 毅 (TAKATO, Tsuyoshi)
東京大学・医学部附属病院・教授
研究者番号：90171454