

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：24601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23592893

研究課題名(和文) 早期荷重インプラントにおけるオッセオインテグレーション獲得のための微小動揺の閾値

研究課題名(英文) Threshold of the micromotion to acquire the osseointegration in the early loading implant

研究代表者

村上 和宏 (Murakami, Kazuhiro)

奈良県立医科大学・医学部・研究員

研究者番号：60569078

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：ウサギの脛骨インプラントを埋入、即時荷重をかけ、微小動揺をレーザー変位計にて測定した。実験終了後、検体の有限要素解析を行った。さらに検体の骨形態計測を施行した。荷重インプラントの微小動揺は短期間にピークに達しその後、減少し、無変化になった。小さな荷重のインプラントは微小動揺の減少が急激であった。有限要素解析では、インプラントの辺縁骨の最大ひずみは4000以下であった。荷重インプラントの骨量は対照群と比較して大きかった。即時荷重インプラントの骨結合は、適切な負荷にて獲得される。微小動揺の変化は骨結合の経過を反映すると推測された。良好な骨結合を得るためには微小動揺だけでなく荷重の大きさが鍵となる。

研究成果の概要(英文)：The micromotion(MM)of immediately loaded dental implants placed in the tibia of five rabbits was monitored by a laser displacement sensor. The MM of the loaded implant was analyzed by a finite element (FE) model. The condition of the bone around the implants was histomorphometrically analyzed. The MM of loaded implants increased to peak values over short periods of time, then decreased and eventually reached a plateau. The MM of implants loaded by lower loading forces decreased more prominently. In the FE analysis, the maximum strains in the marginal bone of loaded implants were within 4000 μ strain. The bone volume around the loaded implants was greater than that of control implants. The osseointegration of immediately loaded implants can be acquired simultaneously with bone remodeling by appropriate loading. MM changes are considered to reflect the process of osseointegration. The key factor for good osseointegration is not only MM but also the loading force.

研究分野：歯科医用工学・再生歯学

キーワード：歯科インプラント 早期・即時荷重 オッセオインテグレーション 微小動揺 有限要素法 動的荷重
インプラント安定度

1. 研究開始当初の背景

近年、歯科インプラントの治療期間短縮のために、即時および早期荷重の重要性が増してきた。多くの臨床研究で即時・早期荷重は従来の遅延荷重と比較してほぼ同程度の成功率が報告されている。インプラント埋入早期の微小動揺の大きさについてはオッセオインテグレーション獲得のための最重要な因子の一つである。過去の報告においては即時荷重では微小動揺が $150\mu\text{m}$ 以下であれば骨の治療を妨げることはないと考えられてきた。しかし、これらの報告はすべて荷重様式が不定期な荷重のため、制御下の荷重により与えられた微小動揺で評価する必要がある。また現在において間接的に安定度を評価することはできるが、直接インプラント体の変位(微小動揺)を実測する方法は確立されていない。さらに即時・早期荷重においては与えた微小動揺に対する一次骨接触(初期固定)から二次骨接触への変化についても概念的にしか理解されていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は即時・早期荷重下における

1. オッセオインテグレーションを獲得するための微小動揺の許容範囲の解明
2. インプラントの変位を実測することによる安定性の直接的評価法の確立
3. インプラント治療期間中に微小動揺を与えることによる周囲骨改変現象を評価することである

3. 研究の方法

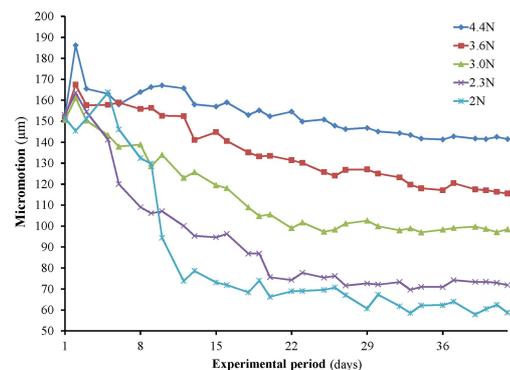
1. ウサギ脛骨にインプラントを埋入し、その翌日に動的即時荷重を与え、レーザー変位計にてインプラントの変位を経時的に測定する。また同時に実験系における有限要素モデルを作成し、インプラントと周囲骨に生じる変位と応力の関係を検討し、実測法の妥当性を評価する。
2. 荷重終了後、標本作成による組織学的検

討、骨形態計測を行い、変位計による実測の変位と有限要素による評価とを合わせて、微小動揺の許容範囲、インプラント骨境界の接触率および周囲骨の骨量を調べる。

4. 研究成果

(1) レーザー変位計によるインプラント微小動揺の実測

5頭の荷重実験を行ったウサギの初日の変位は $150\mu\text{m}$ にて開始された。5頭のウサギに $150\mu\text{m}$ の微小動揺をえるにはそれぞれ2.0、2.3、3.0、3.6、および4.4Nが必要であった。すべての荷重インプラントの微小動揺は荷重日初日から5日以内に $160\mu\text{m}$ 以上に増加しました。2.0Nを除く荷重インプラントのすべては、荷重初日の翌日に最大に達した。微小動揺の大きさは最大に達した後、減少し、ある時期に達すると変化しなくなり骨結合を獲得する。低い荷重において急激に減少し、早期に変化しなくなるが、高い荷重での微小動揺は、徐々に減少し、骨結合獲得まである程度期間を要する。



(2) 振動数解析によるインプラント安定指数 (ISQ) の変化

荷重値の設定が高いものほど初期のISQの値は大きく、高い初期固定を有していた。荷重されたインプラントのISQと微小動揺の実測値との間には相関関係を有していた。3.0Nの荷重インプラントを除いたすべての荷重インプラントのISQは、荷重初期に

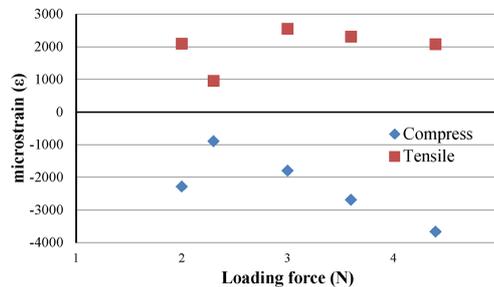
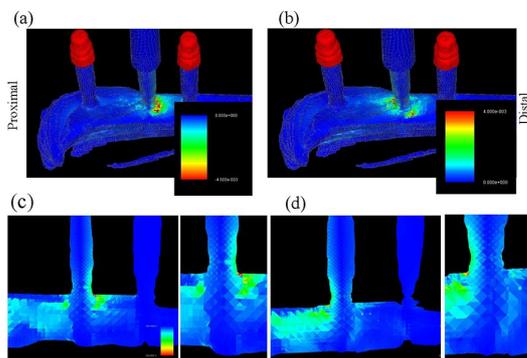
減少し、その後増加しました。3、3.6 と 4.4 N 荷重インプラントの ISQ は徐々に増加して 2 N と 2.3 N の荷重インプラントの ISQ は、急速に増加しました。すべてのインプラントは ISQ の増加した後に値の変化がしなくなりました。

(1)(2)の結果により即時荷重時のインプラントの安定性の変化を明確にとらえることができた。

(3) 有限要素解析

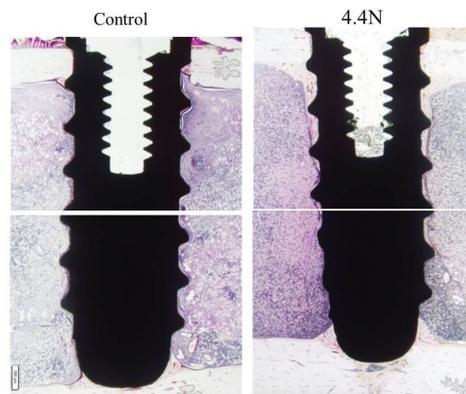
有限要素解析による骨結合後の理論的な微小動揺は 4.4 N は 71.0 μ m、3.6 N で 60.8 μ m、3 N で 55.5 μ m、2.3N で 45.6 μ m、2 N では 36.2 μ m であった。この値にデバイスの変位を加算した数値は骨結合後の荷重インプラントの微小動揺の実測値とほぼ一致した。このことは本実験の実測の妥当性を証明する結果となった。これらの結果から初期の動揺が 95.3 μ m 以下の場合骨結合が得られることが推測された。

大きなひずみはインプラント辺縁周囲骨に示された。荷重インプラントの全てにおいて、最少圧縮ひずみは-4000 μ strain 以上であり、最大引張ひずみは 3000 μ strain 以下であった。このことはインプラントにおける Frost の提唱するメカノスタット理論の妥当性を証明することとなった。



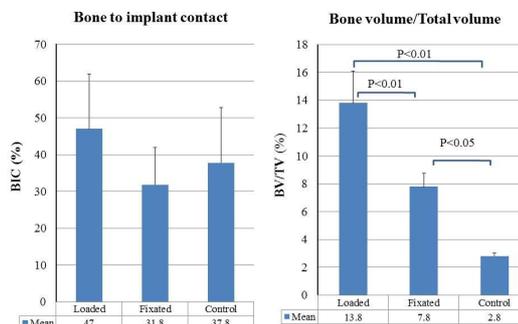
(4) 組織像

インプラント含む周囲骨の組織像ではインプラントは内側と外側の皮質骨に接しており、骨髓腔からインプラント表面方向に骨形成をみとめた。コントロールインプラントに比較して荷重インプラントの表面は良好な骨形成認められた。



(5) 骨形態計測

骨接触率においては荷重、固定、コントロールの順に高い割合を示したが有意差はみとめなかった。しかし骨量に関しては有意な差をみとめた。このことから適正な荷重の即時荷重の場合インプラントの周囲骨の骨量は増加することが示された。



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 件)

1. Murakami K, Yamamoto K, Sugiura T, Kawakami M, Horita S, Kirita T (1 番目). Biomechanical analysis of poly-L-lactic acid and titanium plates fixated for mandibular symphyseal fracture with a conservatively treated unilateral condylar fracture using the three-dimensional finite element method. *Dent Traumatol*.2015(in press) 査読有 doi: 10.1111/edt.12179.
2. Murakami K, Yamamoto K, Tsuyuki M, Sugiura T, Tsutumi S, Kirita T (1 番目). Theoretical Efficacy of Preventive Measures for Pathologic Fracture After Surgical Removal of Mandibular Lesions Based on a Three-dimensional Finite Element Analysis. *J Oral Maxillofac Surg* 72: e1-833.e18, 2014. 査読有 doi.org/10.1016/j.joms.2013.12.019
3. Yamamoto K, Matsusue Y, Horita S, Murakami K (他 2 名). Clinical analysis of midfacial fracture. *Mater Sociomed*. 26:21-5, 2014. 査読有 doi: 10.5455/msm.2014.26.21-25.
4. Sugiura T, Yamamoto K, Murakami K (他 3 名、5 番目). Influence of bone parameters on peri-implant bone strain distribution in the posterior mandible. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 20: e66-73, 2015. 査読有 doi:10.4317/medoral.19878
5. 村上和宏, 山本一彦、(他 7 名、1 番目). 片側関節突起骨折を併発した下顎骨正中骨折における PLLA プレート固定の力学解析. *臨床バイオメカニクス* 35: 83-90, 2014. 査読有
6. 山本一彦、松末友美子、村上和宏 (他 6 名、7 番目) 広範な顔面皮膚剥離損傷を伴った顎顔面多発骨折の 1 例. *日本顎顔面外傷* 13: 6-12, 2014. 査読有
7. Murakami K, Yamamoto K (他 4 名、1 番目) Effect of clenching on biomechanical response of human mandible and temporomandibular joint to traumatic force analyzed by finite element method. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 18: e473-8, 2013. 査読有
8. 村上和宏, 山本一彦 (他 6 名、1 番目). CT 画像をもとに作成した 3 次元有限要素モデル解析による下顎骨内病変摘出後の病的骨折の予測と予防法の検討. *臨床バイオメカニクス* 34: 371-380, 2013. 査読有
9. 杉浦勉, 山本一彦, 村上和宏 (他 6 名、4 番目). 歯科インプラント埋入部位の骨質が周囲骨のひずみ分布の及ぼす影響. *臨床バイオメカニクス* 34: 363-369, 2013. 査読有
10. 堀田聡, 山本一彦, 村上和宏 (他 5 名、4 番目). 無歯顎下顎骨において後方支持インプラントが即時荷重インプラント周囲骨のひずみ分布に及ぼす影響. *臨床バイオメカニクス* 34: 357-362, 2013. 査読有
11. Yamamoto K, Matsusue Y, Horita S, Murakami K (他 2 名). Maxillofacial fractures of pedestrians injured in a motor vehicle accident. *Craniofacial Trauma Reconstr*. 6:37-42.2013. 査読有 doi: 10.1055/s-0033-1333881.
12. Yamamoto K, Murakami K, (他 4 名、4 番目). Maxillofacial fractures in children. *J Craniofac Surg* 24: 153-157, 2013. 査読有
13. Yamamoto K, Murakami K, (他 5 名、4 番目). Maxillofacial fractures of pedestrians injured in a motor vehicle accident. *Craniofacial Trauma Reconstr* 6: 37-42, 2013. 査読有
14. Murakami K, Yamamoto K (他 4 名、1 番目). Metastatic sarcomatoid renal cell carcinoma to the mandible treated with Sorafenib. *Open J Stomatol* 2: 222-227, 2012. 査読有
15. Murakami K, Yamamoto K (他 5 名、2 番目). Biomechanical analysis on the strength of the mandible after marginal resection. *J Oral Maxillofac Surg* 69: 1798-1806, 2011. 査読有
16. Yamamoto K, Murakami K (他 5 名、3 番目). Maxillofacial fractures due to work-related accidents. *J Craniofac Surg* 39: 182-186, 2011. 査読有
17. Yamamoto K, Murakami K (他 4 名、4 番目). A mandibular body fracture related to mouth-opening training in a dialysis patient. *Dent Traumatol* 27: 318-320, 2011. 査読有
18. 杉浦勉, 山本一彦, 村上和宏 (他 6 名、4 番目). 歯科インプラントの周囲骨の応力分布に荷重開始時期および骨質が及ぼす影響. *臨床バイオメカニクス* 32: 27-32, 2011. 査読有
19. Yamamoto K, Murakami K (他 4 名、4 番目). Maxillofacial fractures sustained in bicycle accident. *J Oral Maxillofac Surg* 69: 155-160, 2011. 査読有

[学会発表](計 6 件)

1. 村上和宏、露木基勝、石田純一、山本一彦、杉浦勉、堀田聡、川上正良、今井裕一郎、上田順宏、桐田忠昭
- 3 次元有限要素モデル解析による下顎骨内病変摘出後の病的骨折の予測とその予防法および術後下顎骨の強度の回復についての検討
第 33 回 日本口腔腫瘍学会総会・学術大会 (27 年 1 月 29・30 日、奈良県新公会堂)
2. 村上和宏、露木基勝、石田純一、山本一彦、桐田忠昭
高齢インプラント治療患者の臨床的検討
非高齢者との比較

第 13 回 奈良臨床歯科医学大会 (25 年 11 月 17 日、奈良県歯科医師会館)

3 .村上和宏、山本一彦、杉浦勉、川上正良、堀田聡、露木基勝、石田純一、今井裕一郎、上田順宏、堤定美、桐田忠昭

片側関節突起骨折を併発した下顎骨正中骨折における PLLA プレート固定の力学解析
第 40 回 日本臨床バイオメカニクス学会 (25 年 11 月 22・23 日、神戸国際会議場)

4 .村上和宏、山本一彦、青木久美子、福本行余、杉浦勉、桐田忠昭

ソラフェニブによる治療がなされた下顎骨転移を有する肉腫様腎細胞癌の 1 例

第 57 回 日本口腔外科学会総会・学術大会 (平成 24 年 10 月 19~21 日、パシフィコ横浜)

5 .村上和宏、山本一彦、露木基勝、杉浦勉、川上正良、堀田聡、松末友美子、今井裕一郎、石田純一、上田順宏、桐田忠昭

CT 画像をもとに作成した 3 次元有限要素モデル解析による下顎骨内病変摘出後の病的骨折の予防

第 57 回 日本口腔外科学会総会・学術大会 (平成 24 年 10 月 19~21 日、パシフィコ横浜)

6 .村上和宏、山本一彦、露木基勝、杉浦勉、川上正良、堀田聡、松末友美子、宮城摩里子、桐田忠昭

下顎骨嚢胞摘出後の病的骨折の予防についての有限要素解析

第 56 回 (社)日本口腔外科学会総会 (23 年 10 月 21~23 日、大阪国際会議場)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6 .研究組織

(1)研究代表者

村上 和宏 (MURAKAMI, Kazuhiro)
奈良県立医科大学・口腔外科学講座・博士
研究員
研究者番号：60569078

(2)研究分担者

山本 一彦 (YAMAMOTO, Kazuhiko)
奈良県立医科大学・口腔外科学講座・准教授
研究者番号：20243842

堤 定美 (TSUTSUMI, Sadami)

日本大学・歯学部・特任教授
研究者番号：00028739

杉浦 勉 (SUGIURA, Tsutomu)
奈良県立医科大学・口腔外科学講座・博士
研究員
研究者番号：60398435

(3)連携研究者

()

研究者番号：