

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：12602

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2022

課題番号：16K20490

研究課題名(和文) 応力解析による顎口腔機能に調和する接着ブリッジの臨床応用に向けた基礎的研究

研究課題名(英文) Basic research for clinical application of RBFDPs adapted to oral and maxillofacial function by stress analysis

研究代表者

根本 怜奈(Nemoto, Reina)

東京医科歯科大学・歯学部附属病院・非常勤講師

研究者番号：50706893

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：3Dプリンタを用いてレジン製模型を製作し、YSZを用いて作製した従来型接着ブリッジを5段階に変化させた歯槽骨レベルのモデルに装着し、前歯部最大咬合力を加えた際の接着ブリッジフレーム、セメント、歯周組織の内部応力について有限要素法を用いて解析、検討を行った。歯根1/2以上の歯槽骨レベルが低下した状態ではフレーム、歯根1/3以上の歯槽骨レベルが低下した状態ではセメント、歯周組織への負荷がより一層大きくなり、フレーム脱離及び歯周組織への負荷が大きくなる可能性が考えられ、ジルコニア接着ブリッジの適用には向かないことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

接着ブリッジを応用する際には、支台歯の歯槽骨レベルが良好であることが推奨されているが、近年の高齢社会において、歯槽骨レベルの低下した症例についても接着ブリッジ応用の可能性が報告されている。歯周治療終了後、骨吸収した患者に対して従来型ブリッジの形成は困難なうえに露髄等のリスクがあるため、接着ブリッジは有用な処置方法と考えられる。しかしながら、段階的な歯槽骨レベルの低下に伴う接着ブリッジの予後や歯根膜を含む歯周組織に与える影響などを客観的に評価した報告はない。本研究は、歯槽骨レベルの低下した症例における接着ブリッジの脱離リスクと歯周組織への影響について検討したものであり、有意義なものと評価できる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to investigate the risk of debonding of resin-bonded fixed dental prosthesis frameworks and the effects on the periodontal tissue in patients with reduced alveolar bone levels.

The stress concentration on the frameworks may become even greater when the alveolar bone level is reduced to 1/2 of the root length. Additionally, the adhesive cement shear stress was greater on the central incisor than on the canine, suggesting that the risk of one-side framework debonding from the central incisor side may be higher when the alveolar bone level is reduced by 1/3 of the root length. Similarly, the stress concentration of the periodontal tissue may be higher when the alveolar bone level is reduced by 1/3 of the root length. The present study suggested that the risk of debonding and periodontal tissue damage might be higher when the RBFDPs frameworks are used in patients with reduced alveolar bone levels compared to those being in a healthy state.

研究分野：歯科補綴学分野

キーワード：接着ブリッジ ジルコニア

1. 研究開始当初の背景

接着ブリッジを応用する際には、支台歯の歯槽骨レベルが良好であることが推奨されているが、近年の高齢化社会による歯周病患者の増加に伴い、歯槽骨レベルの低下した症例における接着ブリッジの応用の可能性が報告されている (Kourkouta et al, Br Dent J, 2007). その際の長期的予後のためには、顎口腔機能の診断や、支台歯の選択、咬合接触状態の重要性は指摘されているものの (Durey et al, Br Dent J, 2011), 歯槽骨レベルの低下した際の接着ブリッジの応用は症例報告が多く、ランダム化比較試験や、in vitro の実験系を用いてのエビデンスの構築は未だ確立されておらず、接着ブリッジの長期的予後を改善するためのキーファクターは未だ明らかとなっていない。

2. 研究の目的

本研究では、咬合力等に代表される機能力がジルコニア接着ブリッジを介して歯周組織に伝播するメカニズムを解明することにより、歯槽骨レベルや咬合接触状態など顎口腔機能に調和するジルコニア接着ブリッジのデザインを提言することを目的とした。

3. 研究の方法

有限要素モデルをより生体に近似させた上でシミュレーションが行えるように、ヒト乾燥有歯下顎骨の左側中切歯から犬歯までの CT データを有限要素モデル化し、歯根膜は 2 相性の線形、固定源は歯槽骨底部とするモデルを作製した。セメントエナメルジャンクションから歯槽骨までの距離を 1mm としたモデルを正常モデル、M0 とし、歯槽骨吸収モデルとして、歯槽骨吸収が歯根の長さの 1/3 程度までのものを M1, 1/3~1/2 程度までのものを M2, 1/2~2/3 程度までのものを M3, 2/3 以上のものを M4 の歯槽骨吸収の条件で、有限要素モデルを作製し、2 リテ - ナージルコニア接着ブリッジに前歯部最大咬合力を荷重した際の支台歯、歯周組織、補綴装置の内部応力の比較検討をおこなう。歯槽骨が吸収した状態では、歯周組織正常時と比較し、歯牙の動揺が増大し、支台歯、歯根膜、歯槽骨、補綴装置に加わる内部応力の大きさ、部位が異なると考えられる。

4. 研究成果

(1) 結果

フレームの最大主ひずみ

フレームに生じた最大主ひずみの結果は、最大主ひずみ平均値は M0 から M2 までは 25.33MPa から 25.78MPa と大きな変化は認められず、M2 から M4 において 25.78MPa, 29.35MPa と値が大きくなった。(図 1)

フレームに生じた最大主応力はすべてのモデルにおいて唇側コネクター下部と口蓋側中切歯ポンティック間コネクター部に応力集中を認めました。歯槽骨吸収量が大きい M3M4 において特に、犬歯よりも中切歯側のコネクター部に応力集中が認められた。

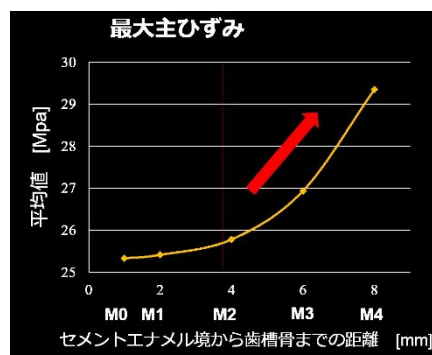


図 1. フレームの最大主ひずみ

セメントに生じた剪断応力

11MPa 以上のボクセル体積パーセントは全てのモデルにおいて犬歯よりも中切歯の方が大きい値を示し、中切歯に関して、M0 から M4 と歯槽骨吸収量が大きなモデルになるにつれて大きい値を示した。中切歯犬歯共に、M4 において 10.57%, 3.10%と最大値を示した。歯槽骨吸収量が大きくなるにつれて中切歯と犬歯の 11MPa 以上のボクセル体積パーセントの差は大きくなった。(図 2)

M0, M1 において中切歯犬歯共にコネクター側に応力が集中しており、M2 から M4 においては中切歯はコネクター部から歯頸部にかけて、犬歯はコネクター部に応力集中が認められた。

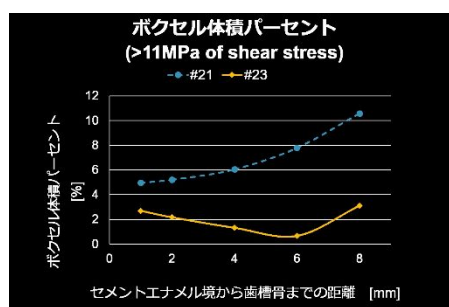


図 2. セメントの剪断応力

歯根膜に生じた最大主ひずみ及び最小主ひずみの平均値

最大主ひずみの平均値は M0 から M4 と歯槽骨吸収量が大きくなるにつれて大きい値を示し、犬歯よりも中切歯の方が大きい値を示した。M2 以降、最大主歪みの値は中根氏に関して  $3.09 \times 10^{-2}$  から  $9.84 \times 10^{-2}$  と、犬歯に関して  $3.12 \times 10^{-2}$  から  $8.83 \times 10^{-2}$  と大きくなり、最小主ひずみも同じ傾向を示した。(図 3)

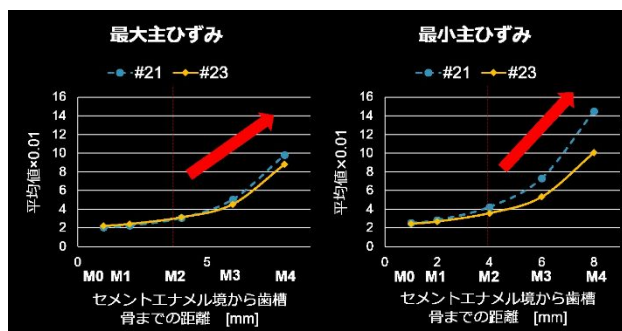


図 3. 歯根膜の最大・最小主ひずみ

中切歯に関して、M2以降口蓋側歯頸部に強い応力集中が認められた。又、中切歯犬歯ともに、M3以降唇側歯根全体及び口蓋側歯頸部に応力集中が認められた。

#### 歯槽骨の最大主ひずみ

最大主ひずみ平均値は、皮質骨に関して、M0からM2において2.33MPaから2.82MPa、M2からM4において2.82MPaから5.10MPaと、大きな値を示した。また、海綿骨に関して、M2まで大きな変化は認められず、M3、M4において値が大きくなった。(図4)解析結果の画像から、M0からM2において中切歯唇側歯頸部周囲及び犬歯唇側根尖部において応力集中が認められた。M3、M4において犬歯唇側歯頸部周囲において強い応力集中が認められ、中切歯よりも犬歯周囲に応力集中が認められた。

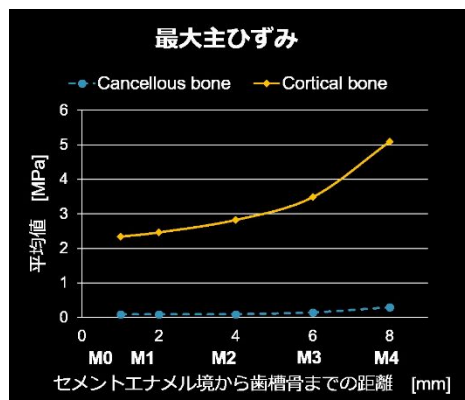


図4. 歯槽骨の最大主ひずみ

#### (2)考察

フレームに生じた最大主ひずみに関して、歯槽骨の吸収量が大きくなると、中切歯ポンティック間コネクター部に応力集中が認められ、フレームが歪むことでセメントに応力集中が生じることから、中切歯コネクター部から片側脱離する可能性が示唆された。

犬歯よりも中切歯に応力集中が認められた理由とした、歯の変位が関与していると考えられました。歯列弓において犬歯を変曲点として、前歯部と臼歯部での歯牙の変位方向が異なり、中切歯と犬歯の変位量は歯根膜の表面積の大きい犬歯の方が小さいと考えられた。フレームが両側で連結固定されている3ユニットでは固定源が動く方が歪みを誘発するため、中切歯側のフレームワークが歪んだと考えられた。

セメントに生じた剪断応力について、全てのモデルにおいて11MPa以上のボクセル体積割合は犬歯よりも中切歯の方が大きい値を示した。中切歯に関して、歯槽骨吸収量が大きくなるにつれてセメントに生じる負荷が大きくなることから、歯槽骨吸収量が大きくなると中切歯歯頸部からコネクター部においてセメント破壊が生じ、片側脱離する可能性が示唆された。

中切歯においてグループを可及的に長くし接着面積を拡大することで接着ブリッジの設計検討により片側脱離のリスクを下げる可能性があると考えられた。

歯根膜に生じた最大主歪みに関して、歯槽骨吸収量が大きくなると、中切歯と犬歯の値の差は大きくなり、犬歯よりも中切歯の方が大きい値を示した。このことは、犬歯の方が中切歯よりも歯根が長く、歯根膜の表面積が1.4倍大きいため中切歯よりも犬歯の方が歯根膜にかかる負荷が分散されたためと考えられた。

また、歯槽骨吸収量が大きくなると歯根膜に生じる負荷が大きくなり咬合性外傷のリスク高くなる可能性が示唆された。歯根膜に生じた最大主歪みの解析画像から、唇側はM3、M4において中切歯犬歯共に歯頸部において応力集中が認められ、口蓋側についてはM2以降中切歯歯頸部、M3以降犬歯歯頸部において強い応力集中が認められた。このことから、唇側に倒れるように回転する力が生じていると考えられ、歯槽骨吸収量が大きくなると歯の変位も強く生じていることが示唆された。

歯槽骨では、M3、M4において唇側歯槽骨に応力集中が認められ、皮質骨だけでなく海綿骨にも応力集中が及んでいた。歯周組織への過度な応力集中は咬合性外傷を誘発し、力の大きさに比例し骨吸収量が増加することが報告されている。皮質骨にかかる応力が2.48MPaを超えると骨のリモデリングが生じるという過去の報告と、本研究の結果であるM2の皮質骨に生じた最大主応力は2.82MPaであることから、歯槽骨吸収が歯根の長さの1/3以上生じている場合、咬合性外傷のリスクが高まり、それに伴い歯槽骨吸収や、歯根膜腔の拡大により歯の動揺が生じる可能性があると考えられた。

#### (3)結論

本研究より、歯根の2分の1以上の歯槽骨レベルが低下した状態においてフレーム、歯根の3分の1以上の歯槽骨レベルが低下した状態においてセメント、歯周組織への負荷がより一層大きくなる可能性が考えられ、接着ブリッジを歯槽骨レベルが低下した症例に行う際には、健常な状態と比較して脱離及び咬合性外傷のリスクが高くなる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Erika Sukumoda, Reina Nemoto, Kosuke Nozaki, Satoshi Omori, Michiko Noda, Miho Sato, Mina Takita, Hiroyuki Miura	4. 巻 -
2. 論文標題 Increased Stress Concentration in Prosthesis, Adhesive Cement, and Periodontal Tissue with Zirconia RBFDPs by the Reduced Alveolar Bone Height	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Prosthodontics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jopr.13293	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 Noda Michiko, Omori Satoshi, Nemoto Reina, Sukumoda Erika, Takita Mina, Foxton Richard, Nozaki Kosuke, Miura Hiroyuki	4. 巻 16
2. 論文標題 Strain analysis of anterior resin-bonded fixed dental prostheses with different thicknesses of high translucent zirconia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Dental Sciences	6. 最初と最後の頁 628 ~ 635
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jds.2020.10.002	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 Ayana Uraba, Reina Nemoto, Kosuke Nozaki, Tasuku Inagaki, Satoshi Omori, Hiroyuki Miura.	4. 巻 62(2)
2. 論文標題 Biomechanical behavior of adhesive cement layer and periodontal tissues on the restored teeth with zirconia RBFDPs using three-kinds of framework design: 3D FEA study. Tokyo Medical and Dental University.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J Prosthodont Res.	6. 最初と最後の頁 227-233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpjor.2017.10.001. Epub 2017 Nov 8.	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 Ayana Uraba, Reina Nemoto, Kosuke Nozaki, Tasuku Inagaki, Satoshi Omori, Hiroyuki Miura,	4. 巻 Apr;62(2)
2. 論文標題 Biomechanical behavior of adhesive cement layer and periodontal tissues on the restored teeth with zirconia RBFDPs using three-kinds of framework design; 3D FEA study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Prosthodontic Research	6. 最初と最後の頁 227-233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpjor.2017.10.001. Epub 2017 Nov 8.	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 Michika Minamifuchi, Reina Nemoto, Ayana Uraba, Satoshi Omori, Kosuke Nozaki, Hiroyuki Miura	4. 巻 7 (2)
2. 論文標題 Evaluating the optimal design of zirconia based resin-bonded fixed dental prostheses using finite element analysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本デジタル歯科学会雑誌	6. 最初と最後の頁 169-174
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 Kyoshi Matsukawa, Reina Nemoto, Kosuke Nozaki, Mariko Kubo, Tasuku Inagaki, Keiichi Yoshida, Hiroyuki Miura	4. 巻 17
2. 論文標題 The influence of the framework thickness on surface strain of the 3-unit zirconia resin-bonded fixed dental prostheses under the functional loading	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Asian Pacific Journal of Dentistry	6. 最初と最後の頁 1 - 7
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 -

[学会発表] 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 すくも田恵梨華, 根本怜奈, 大森 哲, 野崎浩佑, 瀧田美奈, 三浦宏之.
2. 発表標題 歯槽骨吸収症例におけるジルコニア接着ブリッジ装着時の歯周組織への影響.
3. 学会等名 日本補綴歯科学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 すくも田恵梨華, 根本怜奈, 大森 哲, 野崎浩佑, 瀧田美奈, 三浦宏之
2. 発表標題 歯槽骨吸収症例におけるジルコニア接着ブリッジ装着時の歯周組織への影響
3. 学会等名 一般社団法人日本デジタル歯科学会第10回学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田理沙, 野崎浩佑, 根本怜奈, 山下仁大, 三浦宏之, 永井亜希子.
2. 発表標題 イットリア部分安定型ジルコニア材料によるう蝕抑制評価
3. 学会等名 公益社団法人日本補綴歯科学会第125回学術大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 松川 京司, 根本 怜奈, 稲垣 祐久, 久保 茉莉子, 大森 哲, 吉田 恵一, 三浦 宏之
2. 発表標題 ジルコニア接着ブリッジの咬合時歪みについて
3. 学会等名 第7回日本デジタル歯科学会
4. 発表年 2016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

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