

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K09908

研究課題名（和文）高周波電流によるファイル未到達根管における歯髄の蒸散と根管の殺菌

研究課題名（英文）Pulp evaporation and root canal sterilization in inaccessed root canals using high-frequency current

研究代表者

菅谷 勉（Sugaya, Tsutomu）

北海道大学・歯学研究院・特任教授

研究者番号：10211301

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：牛象牙質の模擬根管に225Vで通電を行って根管充填し、封鎖性を評価した結果、根管壁からCやOが消失してCaとPのみが検出され、多孔性の溶岩状を呈した。メタシールSoftペーストで根管充填すると、溶岩状の小孔に侵入して象牙細管内にタグを形成した。5秒間隔で通電すると歯根表面の温度上昇は10回通電後に最大55℃であった。模擬根管内にS.mutansのバイオフィルムを形成して通電を行うと、5秒ですべての細菌が消滅した。イヌに根尖性歯周炎を惹起し、根管形成を行わずに根尖から2.5mm歯冠側で通電しても、ほぼ100%の歯根で骨欠損の縮小または消失が認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歯髄炎における抜髄時間が短縮化され術後疼痛が著しく減少すること、さらに根尖性歯周炎の成功率が向上することが期待され、しかもいずれの治療に用いる場合でも術式はきわめて容易であり広く普及する治療法になると考えられる。このことは歯の保存がより広く行われることにつながり、口腔機能の維持に大きく貢献するとともに健康寿命の延伸となり、医療費の抑制にも役立つと思われる。

研究成果の概要（英文）：Simulated root canals made of dentin were energized at 225V and were filled, and its sealing abilities were evaluated. As a result, C and O disappeared from the root canal wall, and only Ca and P were detected, resulting in a porous lava-like structure. When the root canal was filled with Metaseal Soft paste, it penetrated into the lava-like pores and formed tags into the dentinal tubules. When electricity was applied at 5-second intervals, the temperature increase on the tooth root surface reached a maximum of 55℃ after 10 times of electricity. When a biofilm of S. mutans was formed in a simulated root canal and electricity was applied, all bacteria disappeared in 5 seconds. Even when apical periodontitis was induced in dogs and electricity was applied 2.5 mm from the root apex to the coronal side without root canal preparation, apical bone defects were reduced or disappeared in almost 100%.

研究分野：歯内療法学

キーワード：高周波電流 根尖狭窄部 焼灼 蒸散 殺菌 根尖性歯周炎

1. 研究開始当初の背景

抜髄や感染根管治療では、ファイルによる機械的拡大形成が不十分だと予後不良となる。側枝や副根管がある歯や、レッジにより根尖孔まで穿通できない症例などでは薬剤に期待せざるを得ないが、残存した歯髄の壊死や細菌の死滅には不十分なのが現状で、これらの症例の多くは根尖切除術や再植術、抜歯が適応されている。高周波電流は狭い間隙にも流れ、根管が細くなるとインピーダンスが大きくなって電流密度が高くなり、ジュール熱が発生して根管壁の表層を溶融することも可能なことを発見した。これを応用してファイルが到達しない根管の歯髄を蒸散、壊死させたり、細菌を死滅させたりできれば、予後不良となっている多くの症例を治療に導ける可能性がある。さらに、ファイルで切削しなくても根尖近くの根管がすべて無菌化できれば、根管拡大形成時の作業長の精度は許容範囲が広がり、根管拡大形成サイズも小さくできるため、根管治療をきわめて短時間で容易なものへと変革できると考えられる。

2. 研究の目的

高周波電流の通電により、根管と歯根外表面の温度上昇を計測し、主根管と側枝の根管モデルで殺菌効果を解明、さらにイヌによる動物実験で根尖狭窄部や根尖分枝の歯髄の蒸散、壊死への効果を検討するとともに、根尖性歯周炎を誘発させて根尖狭窄部や根尖分枝内の殺菌と根尖病変の治療への効果を明らかにする。また、過剰な通電は歯根を過熱させ、歯槽骨の温度上昇、壊死を招く危険性があることから、同時にシミュレーションと動物実験結果から、安全な通電限界についても明らかにする。

3. 研究方法

(1) 根管と歯根外表面の温度上昇

根管シミュレーションモデルを用いて幾何学的マルチグリッド法で電流密度分析を行い、根管内に挿入したファイルに通電した場合の根管各部の電流密度分布を計測した。根管拡大形成は根尖孔まで#40 または根尖孔は 10 で 1 mm 歯冠側まで#40 とした。ファイル先端の位置はいずれも根尖から 3 mm 歯冠側とした。その結果、いずれの場合も電流密度分布に著しい差は認められなかった。

次に、抜去歯を根管拡大形成し、根管壁と歯根表面に熱電対を固定、根管内を NaClO で満たし、歯根を NaCl に浸漬して、225V で通電を行った。ファイル先端位置は根尖から 9 mm、6 mm、3 mm 歯冠側の位置とした。

(2) 主根管と側枝の殺菌効果

まず牛象牙質に 0.1 mm、0.4 mm の模擬根管を 1 つまたは 2 つ作製し、電圧 225V で通電を行って、各根管壁の焼灼状態を SEM および EDS で評価した。

次に、牛象牙質に 0.1 mm の模擬副根管を形成、洗浄、滅菌後、付着性が高くバイオフィルムを形成する *Actinomyces naeslundii* を模擬根管内に培養し増殖させた。増殖後、模擬根管内に生理食塩

液を満たして通電を行った。通電時の電極には模擬根管内にファイルが入らない#40 ファイルを用い、電圧 225V、印加時間 0、3 秒とした。通電終了後、模擬根管中央部で象牙質ブロックを分割して根管壁を SEM 観察した。

次に、1 mmの模擬根管内に *S. mutans* の厚いバイオフィルムを形成して 225V で通電を行って、上記同様に SEM 観察を行った。

(3) 根尖狭窄部や根尖分枝の歯髓の蒸散と壊死

ビーグル犬の上下左右 P1~P4 を髓腔開拓して根管形成を行わず、ファイル先端の位置や電圧をさまざまな条件にして高周波電流の通電を行った。評価は通電直後および 1 週後に病理組織学的に行った。

(4) 根尖分枝内の殺菌と実験的根尖性歯周炎への効果

ビーグル犬の上下左右 P1~P4 を髓腔開拓後、歯髓腔内にプラーク懸濁液を滴下、仮封した。4 週後にデンタルエックス線写真で根尖部に骨欠損があることを確認し、上部根管形成後、根尖部 3 mm の根管は根管形成や根管洗浄を行わず、さまざまな条件で高周波電流の通電を行った。その後、根管充填し、9 週後のエックス線画像と脱灰薄切標本で病理組織学的に治癒状態を評価した。

4. 研究成果

(1) 根管と歯根外表面の温度上昇

ファイル先端の位置が根尖から 9 mm と 6 mm では 1 秒後の根管壁の温度は 60 °C であったが、3 mm では 100 °C に達した。5 秒間隔で通電を繰り返すと 9 mm と 6 mm では緩やかに温度上昇を続け、10 回の通電で 70~80 °C に達した。この温度上昇は根尖孔の大きさやファイルの太さによって差が認められた。一方、最も根管内温度が上昇する条件で通電を繰り返すと、根管内温度は 100 °C を維持するが、歯根表面の温度は 10 回の通電でも 55 °C であり、2 回の通電ごとに薬液を交換して冷却すると 45 °C 以下を維持でき、セメント質や骨への障害は起こらないと考えられた。

(2) 主根管と側枝の殺菌効果

人工根管への通電時間を長くすると根管壁から C や O の検出が低下し、さらに通電時間の延長により Ca と P のみが検出されるようになって、SEM では溶岩状に象牙質が溶融凝固した部位が増加した。この焼灼効果は 0.1 mm より 0.4 mm の方が高く、4 秒の通電で根管壁はほぼ全面が溶融凝固した像を示した。0.1 mm と 0.4 mm の 2 根管モデルでは、それぞれ単根管モデルとほぼ同様の変化を示し、通電時間が 2 秒では 0.1 mm の根管壁に有機質が多量に残存したが、4 秒に延長すると 80% が蒸散可能であった。さらに、根管壁に炭化物の残存はなく、蒸散と洗浄が同時に行われている可能性が示された。

人工根管に *Actinomyces naeslundii* を付着増殖させた後、3 秒の通電ですべてのバイオフィルムが消失し細菌の残存は認められなかった。この効果は生理食塩液でも次亜塩素酸ナトリウムでも同様であった。

1 mmの模擬根管内に *Streptococcus mutans* を培養し、通電後に SEM 観察した結果、1 秒では

とんどの細菌が消失し、残存した細菌もバイオフィルムが破壊されて細菌が散在する状態となり、5秒の通電を行うとすべての細菌が消滅した。以上の結果から、ファイルが到達しない主根管および側枝の殺菌は5秒以内の通電で達成できると考えられた。

(3) 根尖狭窄部や根尖分枝の歯髄の蒸散と壊死

ファイルが根尖孔から1-2mm 歯冠側で150または225Vを1秒印加することで、主根管および根尖分枝内は空洞化したり、歯髄が壊死して、とくに血管は構造を失って研究や血漿の変性が認められた。根尖から4mm 歯冠側の位置で225Vを1秒通電しても、概ね同様の結果であったが、根尖分枝内ではわずかに残髄する可能性が見られた。また、歯根膜には225Vを印加した場合にはわずかに蒸散がみられたが、その範囲は10 μ m程度であり、その周囲に熱変性は見られなかった。しかし、歯根膜にファイルが接した状態で通電すると、歯槽骨吸収も観察された。さらに根尖を穿通してグライドパス後に通電を行うと、歯根膜への機械的損傷による炎症が生じるとともに、根尖分枝内の焼灼がやや不十分になった。以上の結果から、歯髄のある根管でのファイル位置を根尖から1~2mm 歯冠側として1秒通電することで、根尖分岐で歯髄への血流は断裂し歯髄が壊死することが明らかとなった。

(4) 根尖分枝内の殺菌と実験的根尖性歯周炎への効果

通電位置が根尖から2.5mm 歯冠側でもほぼ100%の歯根で骨欠損の縮小または消失が認められ、根管拡大形成を通法で行った場合よりも高い成功率を示した。病理組織学的にも根尖部骨欠損内の炎症の程度は大きく改善し、Gram染色で主根管の細菌は消滅し直径50 μ m程度の根分岐では細菌がほぼ消滅していた。しかし、10 μ m程度の根尖分岐内にはGram陽性や陰性の細菌が観察された。

以上の研究成果から、歯髄炎における抜髄時間が短縮化され術後疼痛が著しく減少すること、さらに根尖性歯周炎の成功率の大きな向上することが期待され、しかもいずれの治療にも術式はきわめて容易であり広く普及する治療法になると考えられる。このことは歯の保存がより広く行われることにつながり、口腔機能の維持に大きく貢献するとともに健康寿命の延伸となり、医療費の抑制にも役立つと思われた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hiromichi Kumagai, Tsutomu Sugaya, Toshihiko Tominaga	4. 巻 16
2. 論文標題 Cauterization of Narrow Root Canals Untouched by Instruments by High-Frequency Current	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 2542
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ma16072542	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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 2件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 内沢英作, 菅谷 勉
2. 発表標題 ファイル到達不可根管における根管の直径と数が高周波電流の焼灼効果に及ぼす影響
3. 学会等名 日本歯科保存学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森 厚志、竹中裕喜、菅谷 勉
2. 発表標題 高周波電流によるイヌ歯髓の焼灼
3. 学会等名 日本歯科保存学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水木春苗、富岡智、山内有二、松本裕、東直樹、菅谷勉
2. 発表標題 歯根管高周波電流治療における電場分布の解析
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菅谷 勉
2. 発表標題 Root ZX3とメタシールSoftペーストを用いたファイル到達不可根管の治療
3. 学会等名 日本歯科保存学会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菅谷 勉
2. 発表標題 RootZXによるファイル到達不可根管の焼灼
3. 学会等名 日本歯内療法学会（招待講演）
4. 発表年 2022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	西田 絵利香 (Nishida Erika) (50779882)	北海道大学・大学病院・医員 (10101)	

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
---------	---------