HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ファイル到達不可根管への高周波通電によるEnterococcus faecalisバイオフィルムの焼灼および除去効果 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	佐久間, 柚衣
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(歯学)
Dissertation Number	甲第16456号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95066
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yui_Sakuma_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称　　博士（歯学）　　氏　名　佐久間　柚衣

学　位　論　文　題　名

ファイル到達不可根管への高周波通電による *Enterococcus faecalis* バイオフィルムの焼灼および除去効果

キーワード（５つ）高周波電流　，到達不可根管　，細菌　，バイオフィルム，灰化

根尖性歯周炎の治療では、根管内の細菌やその産生物などの病原因子を機械的および化学的に除去する必要がある。しかし、ファイルが到達不可能な部位では、次亜塩素酸ナトリウムによる洗浄や水酸化カルシウム製剤の貼薬を行っても、バイオフィルムの完全な除去や殺菌は難しいとされている。このため、ファイルが届かない部位があると、病原因子が残存し感染根管治療の成功率が低下することになる。

高周波電流を用いて、電極先端と根管壁との接触抵抗による発熱を利用して殺菌する方法が行われてきたが、ファイルを象牙質に接触させて通電することで象牙質が溶岩状に溶融する範囲は 300 μm 程度であり、ファイルが到達しない側枝などでは、ファイルの接触部での発熱を側枝全域に波及させて臨床的に有効な殺菌レベルを得るのは困難と考えられる。一方、根管内に導電性の高い薬液を満たし高周波電流を通電した場合、根管の狭窄した部位で根管内用液が沸騰して気泡が発生し、気泡内で放電が起こることで根管壁の有機質が灰化、消失したり、象牙質が溶融したりする。これにより、レッジなどで根尖孔に穿通できない根管や、側枝、根尖分岐、イスムスなど、ファイルが到達できない部位に対して細菌を灰化、消滅させることが期待できる。しかし、これらの研究は高周波通電による象牙質面に形成した有機質層に対する灰化、消失の効果を評価したものであり、根管壁のバイオフィルムに対しては、高周波通電による洗浄も効果を発揮すると思われる。そこで本研究は、ファイルが到達しない根管のバイオフィルムの焼灼や除去に対する高周波通電の効果を検討した。

ウシ抜去歯の象牙質からダイヤモンドソーとカーバイトバーを用いて、厚さ 1 ㎜および 2 ㎜の象牙質ブロックを作製し、耐水研磨紙で表面を研磨した。研磨した 2 枚のブロックを重ねて両端を 4-META/MMA-TBB レジンで固定後、エンジンリーマーを用いて両ブロックの界面に長さ 1 または 2 ㎜、#25 の人工根管を作製、人工根管上部には PTFE チューブを固定し、ファイル到達不可根管モデルとした。次に、精製水中で超音波洗浄を 3 回行い、10 % 次亜塩素酸ナトリウム、17 % EDTA でそれぞれ 3 分ずつ人工根管内を洗浄し、注射用水で洗浄した。人工根管内に *Enterococcus faecalis* の懸濁液を注入し、37 ℃、好気的条件下で 2 日に 1 回 BHI 培地を交換しながら 14 日間培養を行った。

その後、人工根管およびPTFEチューブ内を生理食塩液で満たし、人工根管底部は生理食塩液に接触させて、PTFEチューブ内に＃35のファイルを挿入し、人工根管への高周波通電を行った。通電条件は周波数510 kHz、duty 70 %、電圧225 V、通電時間は0、1、3、5秒とした。通電後、2 %グルタルアルデヒドで固定後、走査型電子顕微鏡で根管壁のバイオフィルム残存状態を観察した。評価は人工根管の上部から下部までの4か所を概ね等間隔で無作為に選択し、次の6つのスコアに分類した。

Score 0：象牙細管は開いており象牙細管内に細菌がない。
Score 1：ほぼすべての象牙細管は開いているが、象牙細管の0〜1/4 に細菌の散在がある。
Score 2：ほぼすべての象牙細管は開いているが、1/4 以上の象牙細管に細菌の散在がある。
Score 3：象牙細管の0〜1/4 が細菌で被覆されている。
Score 4：象牙細管の1/4 以上が細菌で被覆されている。
Score 5：ほぼすべての象牙細管が細菌で被覆されている。

走査型電子顕微鏡での観察結果、コントロールはほとんどの部位で厚いバイオフィルムが根管壁を被覆しており、バイオフィルムが薄い部位でも象牙細管の多くは被覆されていた。1 秒通電した試料の多くは、象牙細管が開口し、細菌の残存は少なく、菌体外マトリックスはほぼ消失していた。管間象牙質上にわずかに残存した細菌は、形態が球状でなく不整形であったり縮小したり断片化したりしていた。3 秒および5 秒通電した試料は、1 秒の試料と概ね同様の所見であったが、5 秒通電した試料では、多孔性で溶岩状の形態を示す部位も観察された。人工根管長2 ㎜の試料でも、すべての通電条件において人工根管長1 ㎜と概ね同様の所見が認められた。

バイオフィルム残状状態を評価した結果、コントロールは人工根管長1 ㎜、2 ㎜ともにScore 4以上が67 %であった。人工根管長1 ㎜では、通電時間1 秒でScore 1以下が80 %、3 秒で86 %、5 秒で97 %であった。人工根管長2 ㎜では、通電時間1 秒で98 %、3秒で97 %、5 秒で78 %であり、いずれも細菌の残存はわずかであった。人工根管長1 ㎜でも2 ㎜でも、通電時間1，3，5秒は0 秒に比較して有意（$p<0.001$）に細菌が少なかったが、1，3，5秒の間に有意差はなかった。

本研究でバイオフィルムが消失したのは、高周波電流によって、人工根管内で発熱して気泡が発生し、気泡内で放電が起こって、根管壁の放電部が高温になって灰化、消失したためと考えられる。また、放電に伴い衝撃波や薬液の振動が生じ、放電部周囲の菌体外マトリックスが破壊され、さらに沸騰して発生した気泡の歯冠側への移動に伴う根管内容液の還流によって、破壊された菌体外マトリックスや細菌が洗浄、除去されたのではないかと思われた。また、一部に残存した細菌は、球形を維持していないものが多く、不整形であったり縮小化したり、断片化していたりしたことから、放電に伴いプラズマが発生し、活性酸素や電場、荷電粒子によって細菌が破壊された可能性も考えられた。

以上の結果から、ファイル到達不可根管の長さが1 ㎜および2 ㎜の場合、高周波通電を1 秒行うことで、根管壁に付着したバイオフィルムをほぼ除去できることが示された。また、高周波電流は、細菌を不整形にしたり縮小させたり、断片化させることが明らかとなった。本研究により、高周波電流を通電することで、感染根管治療の治療成績の向上に貢献できると思われた。