

修士学位論文要約（令和4年3月）

光学式脈波センサを用いた反射光検出による歯髄脈波測定に関する研究

森田 優輝

指導教員：松浦 祐司

Study on Measurement of Pulse Wave from Dental Pulp by Reflected Light Detection using Optical Pulse Wave Sensor

Yuki MORITA

Supervisor: Yuji MATSUURA

In this study, we investigated a method of detecting pulp waves of dental pulp based on reflected light scattered by hemoglobin in the pulp. We detected pulp waves in molars that were difficult to measure by the transmission method reported so far. This was made possible by the use of an IC chip that incorporates LEDs, photodiodes, and an AD converter. However, we found that the pulp wave was detected even from a human non-vital teeth without dental pulp when the power of irradiated LED light was increased. A possible reason for this is that the irradiation light penetrated the tooth and reached the gingiva and the light scattered from gingiva was detected. Consequently, we thought that it was necessary to distinguish between pulse waves from dental pulp and gingiva and investigated the difference in the waveform between them. It was confirmed that there were differences in the evaluation indicators in the quadratic differentiation waveform of a volumetric pulse wave.

1. はじめに

現在、臨床における歯髄活性度診断には、外部から刺激を与えて歯髄神経の反応性により診断する電気刺激診断や温診断、打診が用いられているが、これらの診断方法の欠点として患者に苦痛を与えること、患者自身の主観による診断であることなどが挙げられる。そこでこれらの診断方法に代わる客観的な診断方法として歯牙に光を照射し、その透過光から歯髄脈波の検出を行う透過型光電脈波法についての検討が行われてきた¹⁾。しかしこの方法では、きわめて微弱な透過光しか得られないため歯牙組織の厚い臼歯などでは脈波の検出が困難となる問題が存在しており、精度の向上が求められる。そこで本研究では歯髄中のヘモグロビンによる散乱の影響を受けた拡散反射光により歯髄脈波の検出を行う方法について検討を行った。

2. 大臼歯における脈波測定

反射型光電脈波法は歯牙表面に緑色 LED 光とセンサ IC で構成されたチップを押し当て、歯髄中の血管のヘモグロビンによる散乱・吸収の影響を受けた拡散反射光強度の脈動性的変化を検出することにより、血液の容積変化によるヘモグロビンの濃度変化から歯髄脈波を検出する方法である。本研究では、フォトダイオードと AD コンバータが搭載された光学式脈波センサ IC を用いており、従来のシステムにおいて問題となっていた電氣的ノイズによる影響の大幅な改善が期待される。また、この IC チップには緑色を透過するバンドパスフィルタが搭載されており、人体を透過しやすい赤外・赤色光など

の外乱光を大幅に低減させることで高精度の検出が可能となっている。さらにこの IC は LED 駆動回路も備えており、出力光のパワーレベルを 6 段階で調節可能であるため、歯牙組織の厚さに応じて光パワーを適切に調節することにより、組織の厚い臼歯の歯髄においても十分な量の散乱反射光を検出が可能となることが期待される。

ヒトの健康歯において従来の透過型光電脈波法で測定が困難であった大臼歯の歯髄脈波測定を行った。パワーレベルを徐々に上げていくと照射パワー 4.8 μW で明瞭な脈波が検出され、その周波数スペクトルには、図 2 に示すように 0.8 Hz 付近に明確なピークが確認され、反射型光電脈波法を用いることにより大臼歯の脈波検出に成功した。

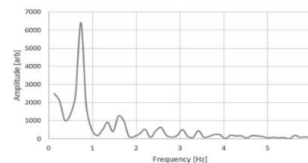


図 2. ヒト健康歯(大臼歯)の光パワー 4.8 μW で検出した歯髄脈波の周波数成分

つぎにヒト失活歯(根幹治療により歯髄を除去した歯)における大臼歯の歯髄脈波測定を行った。健康歯で脈波を検出した照射パワー 4.8 μW で、図 3(上図)に示すように脈波および脈波に相当する周波数成分は検出されなかった。しかし、その後失活歯に対して光パワーを 5.1 μW に増加させ測定を行った際に、図 3(下図)に示すように脈波が検出される結果となった。この原因として

は、照射光パワー増加により、歯牙組織を透過して歯肉部分まで到達した散乱反射光が検出された可能性が考えられる。

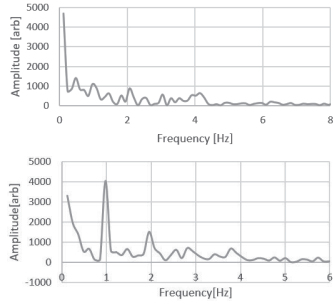


図3. ヒトの失活歯(大白歯)の光パワー4.8 μW で検出した歯髄脈波の周波数成分(上図)と5.1 μW で検出した歯髄脈波の周波数成分(下図)

3. 加速度脈波の比較

大白歯から検出された脈波には歯肉からの成分が含まれている可能性があるため歯肉の影響を正確に把握することで正しい診断へと導くことができる。解析的な解決手段として、歯髄と歯肉の構造の違いによる脈波成分の相違を脈波分析から把握する方法、また、心電図をベースに歯髄と歯肉の脈波の立ち上がり時間差から把握するなどが得られるが、今回は前者について検討する。

光電脈波法で測定して得られる容積脈波は基線が不安定で波形も一拍ごとに変わるため、どれを基本波形とするかを定めることは明瞭ではない。そこで、基線を安定させ平均的に定量表現することができる加速度脈波を使用して脈波分析を試みた。容積脈波を二次微分して得られる加速度脈波は図4に示すように a~e 波成分で構成されることが知られている。b波は収縮期前方成分に含まれており脈波速度に関係するため血管壁伸展性を表す²⁾。一方、d波は収縮期後方成分に含まれており主に反射波の状態を表す³⁾。反射波は動脈硬化を主とした血管の器質的硬化、また血管内圧上昇に伴う血管の機能的壁緊張により強まる。c波およびe波は具体的な意味づけはされておらず加齢により低下することがわかっている⁴⁾。今回歯髄と歯肉の脈波を区別するにあたり歯髄は歯肉に比べて、血管壁が硬いこと、血管内径が小さいことから、図4に示すように、血管壁が固く、血管内径が小さい歯髄内動脈では、b波の強度が上昇し、d波が低下すると推測される。ただし脈波の強度は一拍ごとに変動するため、ここでは各成分の強度をa波の強度で除した波高比を用いて波形の比較を行うこととした。

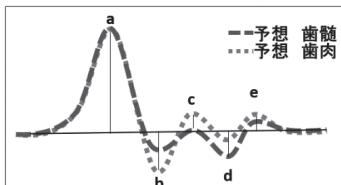


図4. 加速度脈波の各成分と歯髄・歯肉の予測特性

24歳男性被験者の切歯(健康歯)を対象に脈波成分の分析を試みた。なお、比較対象とする歯肉は被測定歯の根元部分を用いた。脈波分析を行うにあたり従来の脈波センサ IC(ローム, BH1790GLC)のサンプリング周波数 32Hz ではデータ数不足により脈波分析に限界が生じたため、新たにサンプリング周波数 128Hz の脈波センサ(ローム, BH1792GLC)に変更して測定をおこなった。容積脈波を二次微分したものを移動平均により平滑化した加速度脈波から、100 拍分の a~e 波成分を取り出した。そして、それらのデータから外れ値を除去し有意性のある値を使用するために Smirnov-Grubbs 検定を用いてしきい値を 5%として外れ値の判定を行った後に、正規化したb~e波の波高成分を比較したものを図5に示した。b波およびd波について、前述の予測と同様の差異が確認され、本手法を用いれば歯髄からの脈波成分と歯肉からのその識別が可能であることが示された。

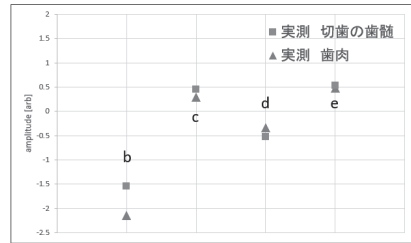


図5. 切歯の歯髄と歯肉の加速度脈波波高比

4. おわりに

本研究では反射型光電脈波法を用いてヒトの大白歯を対象とした測定を試み、LED の光パワーを調整することで健康歯における大白歯での安定した脈波を検出することに成功したが、失活歯においても光パワーを増加させると歯肉内動脈からの脈波を検出してしまふ可能性が示された。

そこで歯髄と歯肉の構造の違いによる脈波成分の差異を推定し、それを加速度脈波分析から判別する方法について検討した。切歯の歯髄と歯肉各 100 拍分の波高成分から有意性のある値を取り出し比較したところ、血管の器質的・機能的状態を表した波高比において推定したものと同様の結果となり、歯髄と歯肉の脈波成分の違いが生じることがわかった。

文献

- 1) S. Kakino, S. Kushibiki, A. Yamada, Z. Miwa, Y. Takagi, Y. Matsuura, ISRN Biomed. Eng. 50, 28-69, 2013.
- 2) I. Imanaga, H. Hara, S. Koyanagi, and K. Tanaka, Jpn. Heart J. 39, 775-784, 1998.
- 3) T. Yaginuma, K. Takazawa, and M. F. O'Rourke, Arterial vasodilation: Mechanisms and Therapy. ed by O'Rourke MF, Safar ME, Dzau VJ. 78-90, 1993.
- 4) 関 博人, 第 13 回 加速度脈波研究会論文集. 13, 1-8, 1992.