

平成 30 年 5 月 22 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K11102

研究課題名(和文) オーダーメイド歯髄選択血流計を試作し、血流検出に基づく新しい歯髄診断法を確立する

研究課題名(英文) A study on the pulp diagnosis based on the detection of pulp blood flow using a custom-made dental-pulp-selective blood flowmeter

研究代表者

井川 資英 (Ikawa, Motohide)

東北大学・大学病院・助教

研究者番号：80176065

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではオーダーメイド歯髄選択血流計を試作し、血流検出に基づく新しい歯髄診断法を確立することであった。まず歯髄血流によって生じるドップラーシフトのパワースペクトラムと血流信号の同時表示を行なうことができる歯髄専用血流計を試作した。試作器は歯髄で15KHz以下のドップラーシフトを示し、脈動性の成人の歯髄血流を検出することができた。この結果は個人に適合した測定が可能であることを示唆した。

緑色レーザーのヒト歯髄ドップラー血流測定光源としての有用性の検証も行った。緑色レーザーを光源として血流測定を行い、歯髄からは明瞭な血流信号検出には至らなかったが、指尖からは血流を検出することができた。

研究成果の概要(英文)：The aim of the present study was to establish a pulp diagnosis method based on the detection of pulp blood flow. For this purpose, a custom-made dental-pulp-selective blood flowmeter was designed to display simultaneously 1) power spectrum produced by Doppler frequency shift of the pulpal blood flow and 2) blood flow signals. The prototype blood flow meter showed the frequency shift less than 10-15 KHz produced by Doppler shift reflecting pulp blood flow. The blood flow meter detected pulsatile blood flow signals from human vital dental pulp. The results showed the possible blood flow measurement suitable for each individuals.

Furthermore, a green semiconductor laser was examined as a light source of the laser Doppler blood flow measurement. Although pulsatile blood flow signals from the dental pulp have not recorded, yet, the prototype blood flow meter with green laser light source detected the blood flow change of fingertip of the subject.

研究分野：歯科保存学 歯内療法学 歯周療法学

キーワード：歯髄 血流 ヒト レーザードップラー 診断

1. 研究開始当初の背景

(1)電気診や温度診などといった現在用いられている歯髄診査法は、刺激によって生じる歯の痛みをとまなう。また、歯髄神経の分化が未熟な乳歯や幼若永久歯などでは、歯痛への応答の正確さと客観性に乏しいことが指摘されている。このため「無痛」および「客観性」という課題の克服が求められている。近年、歯髄の生死の診断法として、レーザードップラー血流測定による血流の存在を歯髄の診査に用いる試みがなされてきた。「無痛」および「客観性」という課題の克服が可能である。しかし市販の血流計は、流速の遅い歯髄血流の測定には適しておらず、その検出感度は非常に低く、検出する信号機器の可能な測定域のほぼ下限に値し、検出が非常に困難であった(測定範囲0~1000の機器でせいぜい10~10程度)。

(2)私は既にヒトの歯髄血流が低血球密度および低流速であることを世界で初めて報告した。(Qu, Ikawa, Shimauchi, 2014)すなわち、ドップラーシフトの対象波長域を5 KHzに設定し、入力インピーダンスを従来の10倍することで、通常の市販の血流計に比較し40倍程度の大きさの脈動が比較的明瞭な血流信号を表示できることを示した。しかし、ドップラーシフト効果には当然個体差が存在し、既定の検出波長帯域が個々の測定にベストフィットしているとは限らない。従って、測定対象歯髄の流速に適合するオーダーメイド血流計を用いた測定が望ましいと考え

られた。

2. 研究の目的

(1)オーダーメイド血流計が測定対象となる歯髄血流速度に適合するためには、まず対象歯髄で生じるドップラーシフトの周波数帯域を把握し、それに適合した測定帯域での計測を行うことである。したがって、オーダーメイド血流計は単に固定周波数帯域での血流測定を行うだけではなく、個々の歯髄でのドップラー効果による周波数シフトに関するパワースペクトラムからリアルタイムでその周波数帯域を求めることが求められる。そしてその周波数帯域に適合した血流演算を実行することが出来れば、一台の機器で、複数の測定対象者に対応可能なオーダーメイド高感度血流計が実現する。

(2)この研究では、周波数シフトに関するパワースペクトラムをリアルタイム表示し、それに合わせてその場でフーリエ変換する波長帯域(上限)を決定できる機器を試作し、従来の血流計を用いた歯髄血流測定と比較し、その有効性を検証することを目的とした。

3. 研究の方法

(1)測定対象に適合したオーダーメイド高感度歯髄選択血流計の試作

個々人の歯髄にマッチした血流計であるためには、まず歯髄血流速度(すなわちドップラーシフトによって生じる周波数帯域と

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

そのパワー)を把握しなければならない。そこでまず、ドップラー効果によって得られる周波数シフトのパワースペクトラムをリアルタイムで演算し、その周波数帯域の上限(カットオフ周波数)を血流計の画面上にリアルタイムで表示可能でなければならない。次に、演算周波数を可変とし、表示された周波数帯域をもとに決定されたカットオフ周波数帯域内のみでの血流算出のための演算を行ない表示する。

以上の二つの測定システムを一つにビルドインし、結果を同時に表示可能なとした機器をオーダーメイド高感度歯髄選択血流計として試作した。また、歯髄外への光の散乱を減じ、検出感度を高めることを目的として、通常光源に用いられている近赤外光(700-800nm)よりも短い波長である、緑色半導体レーザー(520-530nm)を光源として使用した。

(2) 歯髄専用血流測定器を用いてヒト歯髄血流を測定する

ヒトの健全な上顎中切歯(幼若永久歯から高齢者まで)歯髄を対象とした血流測定を行った。測定に先立ち、研究計画について、東北大学大学院歯学研究科研究倫理委員会の承認を得た。被験者として、東北大学大学院歯学研究科および東北大学病院スタッフの協力を得た。

4. 研究の成果

(1) 研究の主な成果

- ・ オーダーメイド高感度歯髄選択血流計の試作

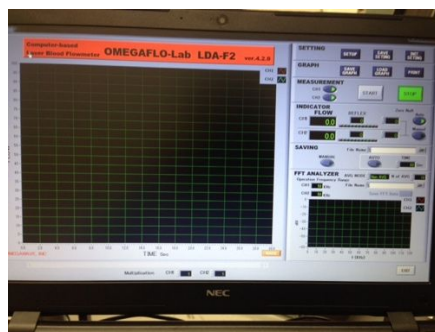
試作機器は、歯髄血流によって生じるドップラーシフトのパワースペクトラムと血流信号の同時表示を行うものとした。その際、歯髄血流と比較対象組織の血流信号を表示するため、2chの測定および表示が同時に可能である仕様とした。

下に試作機を示す。ラップトップタイプのPCとレーザー照射および採取、さらに光電変換によるドップラーシフト検出部と(写真下の金属部分)から成る。



(試作の歯髄選択血流計)

下の写真はPC部分を拡大したもので左側の大きな画面で血流を、右下の小さな画面でドップラーシフトを表示している。



また、信号のサンプリング時間は1000ms、100ms、40ms、20ms、10msまで可変とすることができた。さらに、ドップラーシフトの

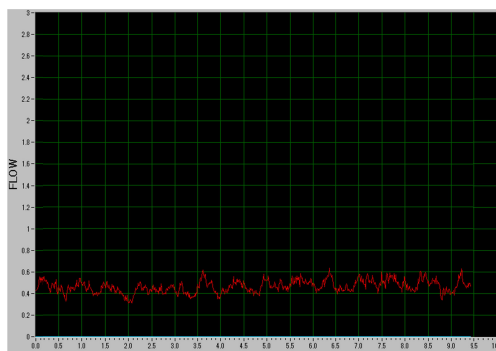
様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

周波数帯域は0-100kHzまでの範囲が可変とすることが出来た。

・ 高感度試作歯髄選択血流計を用いた測定

試作機を用いて成人の上顎中切歯歯髄および歯髄血流と同程度の血流が想定される前腕の皮膚、および指先などで測定を行った。その結果、前腕の皮膚ではドップラシフトが20kHzまでおよんだ一方で、歯髄では10kHz程度であった。また血流信号は前腕の皮膚では1.2V程度の血流信号が得られた一方で、歯髄では0.5V程度であった。

また、脈派の確認は、前腕皮膚では信号のサンプリング時間の如何に関わらず比較的明瞭であったのに対し、歯髄のそれは20msあるいは10msの場合にのみ確認可能であった。下図で歯髄での測定例を示す。この測定例では歯髄血流は赤いラインで表示されており、比較的明瞭な拍動が確認された。



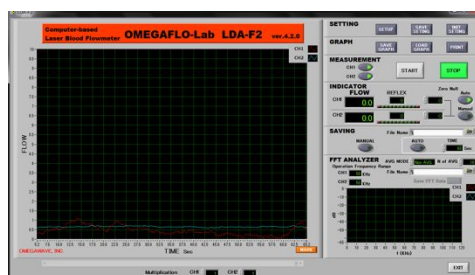
・ 緑色レーザーを光源とした歯髄血流測定

一方、血流計の光源に関しては、従来の近赤外光ではなく周囲組織への散乱の減少が見込まれる緑色レーザーの使用を試みた。

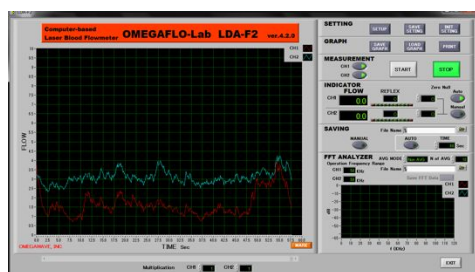


上に示した写真の2箇所の緑色の部分で示すように、緑色レーザー光の出力の安定性をモニターするために、光を2分し一つは血流測定に、そして他方は光量のモニターに用いた(左側の部分)。

血流測定を試みた結果、指尖から血流検出は可能であり、手首の圧迫による血流の低下を確認できた。しかし歯髄を対象とした場合、現在までのところ、明瞭な脈波を検出するには至っていない。この原因としてレーザー出力の不安定さがあげられる。下図に出力が比較的安定した際の歯髄血流を示す(青色が出力、赤色が血流)。



しかし下図に示すような大きな出力変動を生じることもあり、出力を任意に安定させることはまだ達成できていない。



(2)得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

・ オーダーメイド高感度歯髄選択血流計を用いた歯髄血流測定

得られた研究成果の主たる、ヒト歯髄の血流測定に特化したレーザードップラー血流計の試作、及びそれを用いたヒト歯髄血流測定報告はこれまでに全く得られておらず、先駆的研究としての位置づけがなされることは明らかである。本研究の成果は追って国際的な学術雑誌に投稿予定であるが、過去の掲載同様、歯髄血流に関心のある研究者にとって強いインパクトを与えることは間違いない。

・ 緑色レーザーを光源とした血流測定

また、本研究では新たに緑色レーザー光をドップラー血流計の光源に用いて、血流測定を試みた。緑色レーザー光(半導体レーザー)は長時間にわたって安定した出力を得ることが難しく、これまでに歯髄を含み、他の器官でのドップラー血流測定への応用は報告されていない。本研究では歯髄血流を反映したものと断言できるような明瞭な脈動を有する信号を得るまでには行かなかったが、指先での血流測定を確認した。これは近赤外レーザー光とは異なる質の血流測定や酸素飽和度測定の可能性を提示するもので血流測定技法分野の研究にインパクトを与えるものである。提示できたと評価される。

(3)今後の展望

今後は健全生活歯髄血流に関するエビデ

ンスを得る。次いで齲蝕歯、さらに炎症歯髄を対象とした測定を行い、臨床データを蓄積することで血流測定の歯髄診断への応用がより現実に近づくであろう。

一方、緑色レーザー光を光源とするドップラー血流測定に関しては、周囲組織への光の散乱の減少を目的とするラバーシート装着を不要にする可能性があるため、今後特に注力すべき事項である。こ指先から血流検出は可能であつとことから、出力のさらなる安定化に勤めることで可能となるかもしれない。

また、歯髄診断をより精度の高いものにするという観点から、歯髄血流計の測定検出感度の向上を継続していくことに加え、今後は歯髄の酸素飽和度測定にも取り組む必要がある。

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0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権(特許権、実用新案権、意匠権)〕
出願状況(計0件)
取得状況(計0件)

〔その他〕(計0件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

井川資英 (IKAWA, Motohide)
東北大学・大学病院・助教
研究者番号: 80176065