

耳たぶを対象とした中赤外 ATR 法による非侵襲血糖値測定

Non-invasive measurement of blood glucose based on mid-infrared ATR spectroscopy for measurement of earlobes

東北大工¹, 東北大医工² ◯(M2) 曾山 俊輔¹, 木野 彩子², 松浦 祐司²

Tohoku Univ., Graduate School of Engineering¹, Graduate School of Biomedical Engineering²

◯Shunsuke Soyama¹, Saiko Kino², Yuji Matsuura²

E-mail: shunsuke.soyama.p7@dc.tohoku.ac.jp

1. はじめに

現在、苦痛や感染症のリスクを伴わない非侵襲血糖値測定法の開発が強く望まれており、中赤外光を用いた減衰全反射(ATR)測定法を用いた手法は明確なグルコースの指紋スペクトルを検出可能なため、測定手法として有望である。我々のグループでは、これまで角質層の無い口唇粘膜を対象に赤外 ATR 測定を行い、光学的測定値と採血による測定値の間に良好な相関が得られていた。しかし、唾液の影響やプリズムの押し付け圧力の変動が問題となっていた。そこで本研究では、比較的皮膚が薄い耳たぶを対象とした赤外 ATR 測定についての検討を行ったので報告する。

2. 測定方法・結果

Fig.1 に本研究の測定系を示す。フーリエ変換赤外分光器 (FT-IR) から出射された赤外光が中空光ファイバ(内径 2 mm)を介して多重反射プリズムに入射し、プリズム中を伝搬した後ディテクタ側のファイバに集光される。今回は上底 20.8 mm, 下底 24 mm, 幅 2.3 mm の台形型 ZnS プリズムを用いた。測定では耳たぶをプリズム下底面に指で押し付けている。下底面での反射回数は 8 回である。

Fig.2 に多重反射プリズムを用いて測定したグルコース吸収領域の耳たぶの赤外吸収スペクトルを、グルコース水溶液および口唇粘膜のスペクトルと比較して示す。耳たぶの吸収スペクトル形状は口唇粘膜のそれと異なることがわかる。一方、耳たぶのスペクトルをグルコース水溶液のそれと比較すると、各ピークの強度は異なるものの、二者は吸収スペクトルがグルコース水溶液とほぼ同様の位置にピークを持つことがわかる。

口唇粘膜の測定において血糖値と高い相関が得られていた、グルコースの環状構造に由来する 1155 cm^{-1} の吸収ピークは耳たぶでは明瞭ではなかったが、吸収スペクトルを 2 次微分することによりピークを分離・先鋭化して評価を行った。Fig.3 は食事(グラフ中横軸 20~30 min に摂取)前後に測定した 1155 cm^{-1} の 2 次微分ピーク面積の経時変化を、採血により測定した血糖値の推移と比較したものである。ピーク面積の算出にあたっては 1135 cm^{-1} と 1160 cm^{-1} を基点にベースラインを補正している。ATR 測定値が血糖値に非常に良く追従することが確認できた。

Fig.4 は光学的測定で得られた血糖値と、血液検査で得られた血糖値との相関を、血糖値測定装置の評価に用いられるクラークエラーグリッド上に示したものである。3 日分の測定結果、計 39 点がプロットされており、臨床的測定精度を有すると評価される測定誤差 20% 以内に 8 割近くの測定点が存在している。この測定結果の相関係数は $R=0.52$ となり、2 次微分スペクトルの 1155 cm^{-1} のピーク面積を用いることで血糖値の変動を追従できる可能性を示した。

今後は測定系の最適化や定量方法について検討を行っている。また、本手法では大型装置を用いて実験をおこなっていることから、量子カスケードレーザ等の安価かつ小型なレーザを用いたシステムを開発することで実用化を目指す。

参考文献

[1] S. Kino, Y. Tanaka and Y. Matsuura, Biomed. Opt. **19**, 05701(2014)

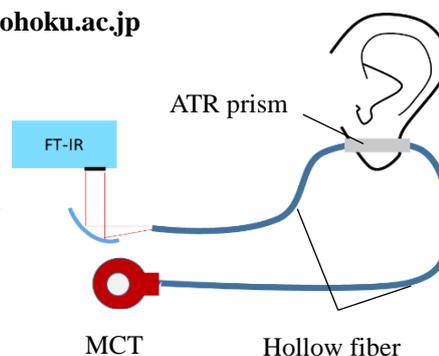


Fig.1 Measurement setup

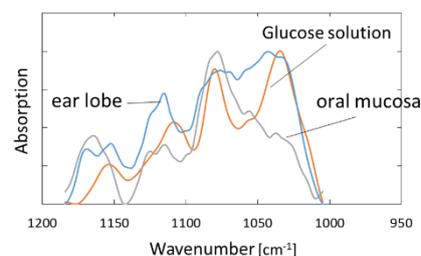


Fig.2 Absorption spectra of earlobe, oral mucosa, and glucose solution.

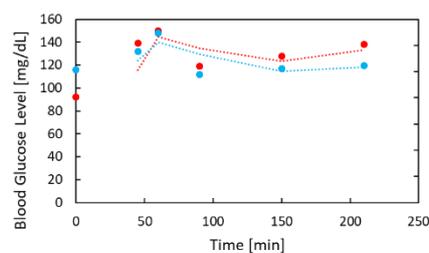


Fig.3 Changes in optical absorption and blood glucose level

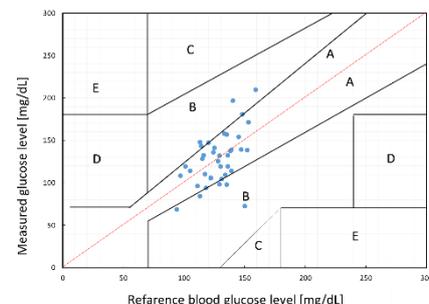


Fig.4 Correlation between optical absorption and blood glucose on Clarke error grid