

生体電磁応答に基づく非侵襲的な血糖値計測法の検討

B-20 Non-invasive Blood Glucose Measurements Based on Bioelectromagnetic Responses

高松 怜紘 樋口 健一 村松 大陸
 Reo Takamatsu Kenichi Higuchi Dairoku Muramatsu

東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科

Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science

1. はじめに

糖尿病は爆発的に罹患率が増加している病気のひとつである。国際糖尿病連合の調査によると 2019 年の時点で世界の糖尿病患者は 4.6 億人におよび、有効な対策を施さなければ 2045 年には 7 億人に達する見通しである[1]。糖尿病診断および治療には日常の血糖値計測が必要不可欠となる。現在の血糖値計測は酵素電極を用いる侵襲的な方法が一般的であり、採血にともなう痛みや手間、消耗品のコストが問題となっている。本稿では、生体電磁応答に基づく非侵襲的な血糖値計測法の実現に向け、被験者実験により血中グルコース濃度と生体インピーダンスの相関を評価する。

2. 提案法

血中グルコース濃度(血糖値)の変化は血中イオンの電離に影響して血液の複素誘電率を変化させるため[2]、例えばミリ波帯では人体に近接したアンテナの反射特性から血糖値を推定できる可能性が示唆されている[3]。本稿では、人体内での信号減衰量が小さく外乱に強い kHz~MHz 帯の生体電磁応答(生体インピーダンスや反射/透過特性)を評価基準とした非侵襲的な血糖値計測法を提案する。具体的には、手首に装着したウェアラブル機器背面に組み込んだ電極で測定した生体インピーダンス[4]から、血糖値の相対的な変化を推定する。

3. 実験構成

血中グルコース濃度と生体インピーダンスの相関を明らかにするため、図 1 に示す測定系で被験者の血糖値と手首のインピーダンスを同時に測定した。血糖値は市販血糖センサ(TERUMO, MS-FR501)で指先を穿刺し測定した。生体インピーダンスは左手首に装着した 1 対のステンレス電極(各 $8 \times 24 \text{ mm}^2$)をインピーダンスアナライザ(Keysight E4990A)に接続し測定した。被験者は非糖尿病の 20 代男性 2 名(被験者 A, B)で、10 時間の絶食後、測定開始前に 75g のグルコースを経口摂取し糖負荷とした。本稿の被験者実験は東京理科大学 臨床研究に係る倫理審査委員会の承認を経て行った。

4. 実験結果

図 2 に被験者 A の、経過時間に対する血中グルコース濃度と 25 kHz における生体インピーダンスの関係を示す。血中グルコース濃度と生体インピーダンスの相関係数は 0.92 で、両者に強い相関が確認された。また、被験者 B での相関係数は 0.82 で同様に強い相関が確認され、生体電磁応答に基づき血糖値の相対変化を推定できることが示唆された。一方でグルコース経口摂取以前では、皮膚と電極の界面に滲む汗等の電解質に影響され、電極装着から一定時間はインピーダンスが経時的に減少することが確認された。より高精度な血糖

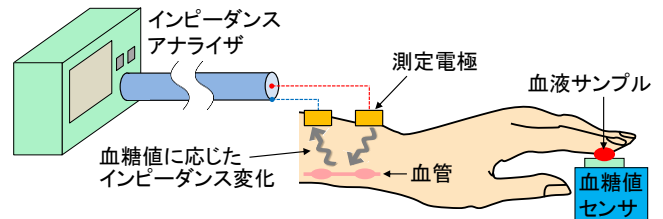


図 1 血糖値と生体インピーダンスの同時測定系

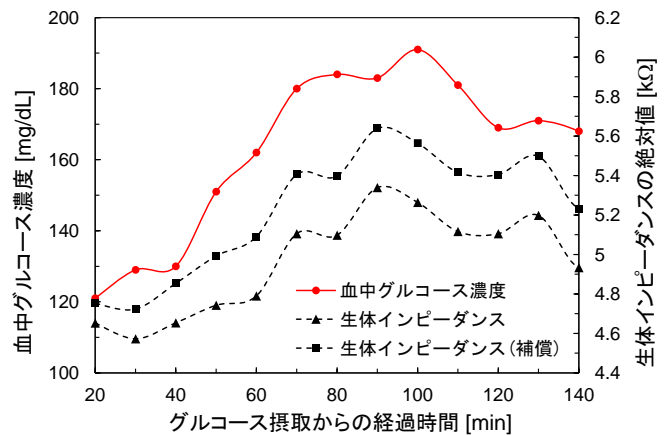


図 2 血中グルコース濃度とインピーダンスの時間変化

値推定を行うには、生体インピーダンスに対する血中グルコース濃度変化以外の影響を排除することが重要となる。本稿では被験者 A の無糖負荷時のインピーダンス特性(測定開始から 60 分まで $50 \Omega/10 \text{ min}$ で減少)を、糖負荷時のインピーダンス特性から減算することで補償を行った。図 2 に示した生体インピーダンス(補償)が無糖負荷時のインピーダンスによる減算補償後の特性である。補償の結果、相関係数は被験者 A で 0.95、被験者 B で 0.92 と共に改善された。

5. まとめ

被験者実験で血中グルコース濃度と生体インピーダンスは高い相関を示し、生体電磁応答に基づく非侵襲的な血糖値計測法の有効性が示唆された。さらに、電極と皮膚の界面に生じる電解質の影響など、血糖値変化に無関係な経時的インピーダンス変動を補償することで、より高精度に血糖値を推定可能であることを示した。今後は被験者を追加したうえで、より適切な補償法や測定周波数について検討する。

参考文献

- [1] International Diabetes Federation, "IDF DIABETES ATLAS Ninth edition 2019", pp. 32-61, 2019.
- [2] B. Freer, et al., *APSURSI*, pp.1-4, 2010.
- [3] Y. Guan, et al., *APMC 2002*, Vol. 2, pp. 889-992, 2002.
- [4] D. Muramatsu, et al., *IEEE ICCE*, pp. 151-152, 2014.