14-85-11 容量性結合に基づく背面導出型心電計の開発

Development of a Back-Leading Electrocardiograph Using Capacitive Coupling

○赤羽恵真*, 植野彰規**, 水田陽***, 片岡幸代***, 星野洋*, 石山陽事****

*東京電機大学大学院理工学研究科, **東京電機大学理工学部

アップリカ葛西(株) 研究開発センター *杏林大学保健学部

Yasunao Akabane*, Akinori Ueno**, Akira Mizuta***, Sachiyo Kataoka***,

Hiroshi Hoshino*, Yoji Ishiyama****

*Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Denki University

**School of Science and Engineering, Tokyo Denki University

R&D Center, Aprica kassai Inc, *School of Health Sciences, Kyorin University

1. はじめに

近年, 疾病の早期発見や予防, 治療効果の評価や確認, および健康維持・管理のために, 各種生理量・行動量を日常的にモニタリングすることが重要視され始めている。心電図も生理量の一つとして一部では在宅にて計測が行われている。在宅下でのモニタリングにおいては無意識・無拘束で計測できることが望ましく, 例えば寝具に組み込んだ心電計による睡眠時の計測などが想定できる。ただし, 一般的な心電図導出においては粘着性ゲルやペースト等を用いて電極を皮膚に直接貼り付けているため, 長時間計測を行うと皮膚のかぶれ・かゆみ・炎症等を招くため問題がある。他方, NICU (neonatal intensive care unit) においては新生児・乳児の心疾患の診断や低出生体重児の発育確認等を目的に心電図の連続モニタリングが行われている。電極の装着には主に乳幼児用ディスプレイ電極が使用されるが, 皮膚への負担が大きく電極交換時に体皮ごと剥離してしまう場合も多い。したがって, 寝具や保育器などに組み込んだ電極で肌着やシーツなどの布地を介して心電図が計測できれば, ホームヘルスケアやNICUなどへの応用が期待できる。

一方, 筆者らは過去の研究において容量性結合の原理を用いて, 布を介して心電図を計測する技術の開発に取り組んできた⁽¹⁾⁽²⁾。本研究ではこの技術を応用し, 寝具等への組込を想定し, 背面部から布地を介して心電図の導出が可能な装置の開発を行ったので報告する。

2. 導出原理

Fig. 1 に容量性結合電極のモデル図を示す。本研究では, 導電性布電極-布-体表表面間に容量性結合を形成し, 結合部の静電容量を通じて心電図(生体交流信号)の導出を行う。布の比誘電率は一般的な誘電体と比べ非常に低いため(綿では推定 2~3), 静電容量を増やすために電極部の面積をできるだけ広くとり, かつ電極部に導電性布を使用し皮膚接着面積の増加と電極-皮膚間距離の短縮を図っている。また, 電極部のインピーダンスが皮膚に直接電極を貼る場合と比べて 10^6 倍以上あるため, 電極直後に高入力インピーダンスを持つインピーダンス変換器もしくは前置増幅器を導入する必要がある。本研究では, 心電計の初段増幅器の入力インピーダンスを $1000G\Omega$ 程度(規格表による)になるよう設計している。

Fig. 1. A model of capacitive electrode coupled onto the skin with cloth

3. 計測装置

Fig. 2 に電極部の配置図を示す。電極には幅 5cm, 長さ 30cm の導電性布テープ(星和電機製, 電極面積 $150cm^2$)を使用し, クッション上に川字を描くように接着した。両端の電極が被験者の肩甲骨周辺部に, 中央の電極が腰部に接着するよう電極間距離を調整した。左肩甲骨側の電極を正入力, 右肩甲骨側の電極を負入力, 中央腰部の電極をアースとした。雑音の低減を目的にクッションの下にシールドシート(日本光電工業製)を敷いた。

Fig. 3 に電極後段に接続した心電計のブロック図を示す。装置は全て市販のICおよび回路部品により製作した。構成は計装アンプ, 低域通過フィルタ, DC サーボ回路(2 段)⁽³⁾, ノッチフィルタ(2 段), 反転増幅器となっている。増幅度は計装アンプで 62 倍, 反転増幅器で 18 倍に設定し, 装置全体で 1116 倍(61dB)とした。装置の入力インピーダンスを布と同等以上にするため, 初段の計装アンプについて公称

Fig. 2. Layout of conductive fabric electrodes on a cushion beneath a sheet of cotton (cloth)

Fig. 3. A block diagram of the electrocardiograph

Fig. 4. Relative positions of the conductive fabric electrodes and disposable gel electrodes

1000GΩの入力インピーダンスを持つFET入力型演算増幅器を使用し、回路を製作した。また、計装アンプの後段にはINST機能を付加した。なお、低域通過フィルタの遮断周波数は110Hz、DCサーボ回路の高域通過遮断周波数は0.08Hz、帯域除去フィルタの帯域除去周波数は50Hzとした。また、感電事故防止のため、駆動電源には市販の乾電池4.5VをDC-DCコンバータ(BST-12/105-d5, DATEL 製)により±12Vに昇圧して使用した。

4. 実験および結果

4.1 綿製シートを介在させた場合

成人男性被験者1名(23歳)を対象に、導電性布電極の上に綿製シートを1枚かぶせ、背面より心電図を導出した。被験者には上半身だけ脱衣してもらい、クッション上の電極位置に合わせ仰臥位になるよう指示した。参照用の心電図を得るため、導電性布電極に隣接して市販のディスポーザブル電極(F-150M, 日本光電工業製)を皮膚に直接接合させ、同時に計測した(Fig. 4)。参照用心電図の計測には多用途テレメータ(SYNACT, NECメディカルシステムズ製)を使用した。波形の記録にはDAT(RD-145T, TEAC製)およびA/D変換装置(OMNIAE II RA1300, NECメディカルシステムズ製)を使用し、サンプリング周波数は1kHzとした。開発装置の出力については、計測後オフラインで単純20点移動平均処理を施した。

結果をFig. 5に示す。上段がディスポーザブル電極により皮膚より直接導出した場合、下段が布を介して開発装置にて計測した場合の結果である。横軸は時間、縦軸は装置の出力電圧を増幅前の電圧に換算したものである。同時計測した波形を比較すると、どちらもP～T波が安定して導出されており、提案装置により綿シートを介した状態で、皮膚から直接導出した場合と同程度のS/Nで背面より心電図が導出可能であることが確認できた。

Fig. 5. Records of electrocardiogram by disposable gel electrodes and by conductive fabric electrodes with cotton sheet

Fig. 6. A record of electrocardiogram by conductive fabric electrodes with cotton underwear

4.2 肌着を着用させた場合

実験4.1と同一被験者に綿製の肌着を着用してもらい、導電性布電極上に直接寝て貰った場合について、計測を行った。他の実験条件は4.1と同様とした。結果をFig. 6に示す。結果より、綿製シートをかぶせた場合と同様に、S/Nよく安定した結果が得られている。したがって、綿製シートを敷くかわりに綿製肌着を着用させた場合にも、本装置は適用可能であることを確認できた。なお、被験者に肌着を着用させ更に綿製シートを電極に被せて場合についても計測を行ったが、S/Nが悪く心電図は殆ど検出することができなかった。

5. まとめ

容量性結合を応用し、背面より綿を介した導電性布電極から心電図を導出可能な装置を開発した。実験の結果、得られた心電図は市販のディスポーザブル電極により皮膚から直接導出した心電図と同等の波形情報を含んでいることを確認した。今度は基線変動とノイズを軽減するために回路の改善を行うとともに、被験者が肌着を着用した状態で、かつ電極上にシートを被せた状態にて心電図の導出が行えるよう回路構成および電極配置等を検討する予定である。

参考文献

- (1) A. Ueno et al: "Low invasive measurement of electrocardiogram for newborns and infants", Proc. IEEE EMBS Asian-Pacific Conference on Biomedical Engineering, 2003-10.
- (2) 古沢ら:「新生児と乳児を対象とした心電図の低侵襲計測」, 第18回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp.411-412, 2003-10.
- (3) 浅石ら:「DCサーボ回路を用いた交感神経皮膚反応の計測—直流・交流成分の検出と神経伝導速度推定の試み—」, ライフサポート, Vol.14, No.3, pp.10-15, 2002-10.