

誕生してすぐに集中治療処置室(NICU)に入らなければならない未熟児として生まれた赤ちゃんについて非接触での心電図や呼吸の測定を可能にし、赤ちゃんと看護師の負担を軽減します。

未熟児で生まれた等の理由からNICUに入る新生児や乳児には、心電図用の電極、脈波、呼吸などのセンサが装着されますが、画像検査の度に脱離と再装着を繰り返すため皮膚が剥離・損傷したり、センサの脱着過程での医療事故の原因となっています。本技術は市販の布地を介して背面より心電図を計測することで、赤ちゃんと看護師の負担を軽減します。

- 病院だけでなく、一般家庭の乳幼児用ベッドやハイローベッド&チェア^(注1)に組込めば、突然の心停止や呼吸停止を検出して、乳幼児突然死症候群による死亡を減らすことも可能です。
- 病院外で気軽に、手軽に、無理なく生体信号を計測できるため、高齢者の日常生活下での健康状態モニタリングに利用し、疾病を予防したり、疾病の早期発見により社会復帰までの期間を短縮するなどの展開が考えられます。



▲集中治療処置室での赤ちゃんの状況(左)との比較

左の写真は従来の計測法により、電極等のセンサが直接肌に貼られている。

右の写真は本計測システムによる計測状況、赤ちゃんの衣服の下に敷かれたセンサ等を通して計測している。

競合技術への強み

	電極	問題点	特徴
従来の心電図・呼吸計測方法	○ 3カ所	△ 皮膚の損傷、着脱の煩雑さ(医療過誤)	△ 病院等での専門的な設備が必要
本研究の計測方法	○ 非接触(布や衣服を通して計測可能)	○ 人体への負担なし	○ 病院外でも手軽に計測可能

▲従来の心電図・呼吸計測方法と本技術との比較表

ここがポイント

- 新生児集中治療処置室(NICU)内での心電図・呼吸計測において、センサの着脱に起因する医療過誤や新生児への皮膚への障害を減らすことが狙いです。
- 容量性結合^(注2)を応用し、寝具に貼り付けた布製電極より1mV以下の微弱な電気信号を検出することにより、市販の肌着を介して乳児の心電図および呼吸性変動を計測可能な装置を世界で初めて開発した。生後17～187日の乳児を対象に実験を行い、安静状態であれば、ほぼ100%の確率で両信号を検出できます。
- 病院内の成人用ベッドに組込めば、センサ類を体に装着せずに夜間の心停止や呼吸停止を検出するモニタにも応用できます。
- 中高年の一般家庭用ベッド(布団)や車のシートに取り付け、就寝時や運転時の長期データを基に、心疾患のスクリーニングや治療(投薬)効果の確認、健康管理などに役立てる構想があります。
- 衣服に組み込めばウェアラブル心電(または心拍)センサへの展開も視野に入れることができます。
- 心電図以外にも筋電図を計測できることを確認しており、リハビリテーションや福祉分野への応用が期待されます。

ブレイクスルーへの道のり

2002年：大学主催の研究報告会にて育児用品メーカーのアップリカ葛西(株)から「乳幼児の心電図を衣類を介して測れないか」と相談を受けたのがきっかけでした。初めは、絶縁性の高い衣類を介して1mV以下の微弱な電気信号を計測できるとは到底思えず「難しいですね」と断りましたが、その後、可能性がゼロでないと考え、修士1年の学生を巻き込み、同社との共同研究を開始しました。

2003年：装置を試作し、繰り返し実験するも信号を検出できませんでした。「計測できる」と考えた論理的根拠と、その実現に向けた取り組みの妥当性をもって修士論文を認めて貰おう、と言いつく考え始めた頃、幸いにも検出に成功し、世界初の成果にたが躍りました。さらに S/Nを向上させ、かつ技術をより使いやすい形にするアイデアを思いつき、国際会議では原稿の内容が評価され、当初希望していたポスター発表から大会場での口頭発表に変わりました。会場は満員で質問も引切りなしで、成果の潜在価値を再認識できうれしくもありましたが、自分達の技術的蓄積の少なさに強い危機感を覚えまし

た。

2004年：前年に得たアイデアを基に、別の修士学生(新しいM1学生)と背面導出型心電計(の原型)を作り始めました。安定性に問題があるものの、成人被験者での成功に気をよくして、1歳半になる長女を手初めに、乳幼児対象の計測実験(フェーズ1、11例)を開始しました。アップリカ葛西(株)にご協力頂いた被験者による実験の計測成功率は結果的に40%でしたが、各種課題や次の装置を設計するための貴重なデータを得ることができました。装置の将来性が評価され、ライフサポート学会バリアフリーシステム開発財団奨励賞を受賞しました。

2005年：前年の乳幼児実験で判明した課題を解決すべく平成17年度産技助成へ提案し、見事採択。助成研究を開始。電極面積、電極材料、電極配置、布の厚み、布の材料、結合圧、結合部の容量、入力容量、圧分布、マットレスの堅さ、シールド方法など、一つ一つを詳細に検討し、システム全体の性能向上と安定化を図りました。第2期の乳児実験(10例)を実施するも、原因不明の不具合により50%の成功率に終わりました。後に装置の並列接続に起因する入力インピーダンスの低下が原因と判明しました。

2006年：第2世代の装置が安定せず、前倒して第3世代の装置製作に着手しました。従来よりも性能の高いICを探し出し、回路構成も変更することで性能向上に成功しました。寝返りによる体位変化も許容する電極配置を考案し、第3世代装置にて成人の就寝時計測を実施しました。6時間で84%の検出率を達成することができました。年末に第2世代装置が安定し、回路の修正により呼吸性変動も計測できることに気づき、成人被験者にて、その動作を確認しました。

2007年：ノイズ抑制回路の導入、電極配置の変更、フィルタ次数の変更などにより、第2世代装置のβ版および第3世代装置のβ版を構築しました。両装置を用いて第三期乳児実験(18例)を実施し、心電図計測で94%の成功率、呼吸性変動計測で86%の成功率を達成しました。年末にNICUメーカーのアトムメディカル(株)のご厚意によりNICU装置の提供を受けました。

2008年：6月末に助成研究を終了。本成果を踏まえNICUへの組込を想定した実験を開始しています。9月にはイノベーションジャパンヘデモ装置を出展し、阿部元首相の心電図を測る機会にも恵まれました。

■サクセス・キー

- 1970年代にNASAが開発に取り組んでいた絶縁物電極について、ある先生に教えて頂いたこと。NASAはロケットの中で宇宙飛行士の心電図を測るために非接触の測定器に取り組んでいたのですが、当時は、高性能のICがなかったために実現を断念していました。現在では当時の1000倍以上の入力抵抗を持つICが開発されていたことが、第一段階の問題突破につながりました。

- 国際会議での発表用に結合部の静電容量を計算する方法を院生に教えていた最中に、それまで不可欠

と思い、さまざまなタイプを作っていた絶縁物の存在が不要であることに気がついたこと。教えていた最中に逆に技術を客観視することで新たな事実を発見することができました。過去の技術を単に真似るのではなく、物理の基本に立ち戻って丁寧に計算からやり直すことで、現在の形態に昇華できました。

- 研究目標の重要性や技術の潜在価値を共感できる学生に恵まれたことが、研究推進の大きな原動力になりました(目標の共有)。
- 助成予算により高価な基板加工機、高速データ収集解析システムなどを導入でき、これによって各種回路を素早く製作し、すぐに実験できる環境を整えられたこと。回路と計測に関するノウハウを蓄積できたことが、システムの安定化に大きく貢献しました(環境の整備)。
- 国際会議での評価はポジティブなフォードバックになりました。
- アップリカ葛西(株)の協力によって、病院を紹介してもらい見学に行ったり、医師の話聞くことで現実に即した研究になりました。

■ネクスト・ストーリー

- 赤ちゃんは頻りに寝返りを打ったり、起きて何かをつかもうとして、足を浮かせて腰の部分が安定しないことが多い。さらに、NICUに入る赤ちゃんは体重が軽い(1kg以下の赤ちゃんもいます)、体動に対する耐性を向上させるとともに、心電図の低周波成分も検出できるように装置を改良する予定です。また、これまで3kg以上の体重の赤ちゃんで実験をしてきましたが、NICUに向けて、軽量乳児(体重・3kg以下)を対象とした計測データを蓄積します。
- ホームヘルスケア分野での実用化に向け、就寝時計測データをもとにスクリーニングする疾病を検出し、解析する予定です。
- 健康モニタへの展開を視野に、体動耐性を強化し、各種日常行動下での計測を実現する予定です。

(注1) ハイローベッド&チェア：ベッドから椅子(またはその逆)への変形が可能で、高さが変えられる育児器具。キャスターが脚部についており、可動式のものが多い。

(注2) 容量性結合：電子工学において、回路内の2点間の静電容量により電圧や電流、電力などが伝達される結合状態を意味する。本研究では、生体一布一電極のサンドイッチ構造から生じる静電容量により、生体内部の電流変化を電極側に伝達させている。



プロジェクトID・研究者名・年度

05A06013a「容量性結合に基づく背面導出型心電計の開発とNICUへの応用」(平成17年度第1回公募)

代表研究者・所属機関・所属部署名・役職名

植野 彰規 東京電機大学工学部 電気電子工学科准教授