

● 一般演題

高齢者見守りシステムの開発

—マイクロ波レーダーによる呼吸, 心拍の非接触計測—

首都大学東京システムデザイン学部 久保田将之・吉田悠鳥・鈴木 哲
 松井岳巳
 富士通株式会社 香川正幸
 日本医科大学多摩永山病院 小谷英太郎・草間芳樹・新 博次
 防衛医科大学校病院 高瀬凡平
 社会福祉法人福音会 栗田 明

はじめに

日本は2009年に65歳以上の高齢者の割合が22%を超え超高齢社会に突入した。その影響により高齢者介護施設では介護職員の不足や夜間時の精神的, 身体的負担の増加が喫緊の課題¹⁾となり, 在宅介護においては直接介護者の加重負担が大きく社会問題となっている。解決策の一つとして, 高齢者介護の現場において本人の普段どおりの生活の中で健康状態を見守り, 同時に介護者の負担を軽減できるセンサーシステムが求められている。

これまで非拘束によるバイタルサイン計測について多くの研究が行われてきた。エアマット²⁾や圧力センサ³⁾, 歪ゲージ⁴⁾を利用したものの, そして高分子圧電帯フィルム⁵⁾を使用し, 呼吸と心拍に伴う背部体表面の圧力変化から信号抽出を試みる例などが報告されている。2005年ごろからドップラーレーダーを用いたバイタルサイン計測の発表が増加し, 2.8m離れた場所から小電力20 μ W, 5GHzのレーダーにより心拍測定を行い精度が80%以上との報告⁶⁾や, 心拍測定の最適周波数は呼吸による体表面の振動振幅に応じて変化するが15~35GHzの間で

あるという報告がある⁷⁾。マイクロ波レーダーを用いた非接触計測に関しては災害時の瓦礫下の生存者を発見する装置への応用⁸⁾や検疫所における有病者スクリーニングシステムへの応用⁹⁾, また冬眠中の熊の呼吸・心拍のモニタリング¹⁰⁾にも使用されている。

そこで本報では, 高齢者の安否確認, 介護者の負担軽減を目的に開発したマイクロ波レーダーを用いた非接触の呼吸・心拍のモニタリングシステムを実際の介護現場で試験的に運用した結果について述べ, 心拍数抽出とR-R間隔抽出について考察する。

1 方 法

計測システムは24GHzのマイクロ波レーダーと解析用のパソコンで構成される。2台のマイクロ波レーダーをベッドとマットレスの間に設置し, レーダーからの信号をパソコンで解析し呼吸数, 心拍数を求める。その画面をLAN経由で遠隔モニターすることができる。レーダー本体は厚さ1.7cmと薄く, 非接触計測のため高齢者は計測されているという違和感はなく普段どおり生活することが可能である。24GHz

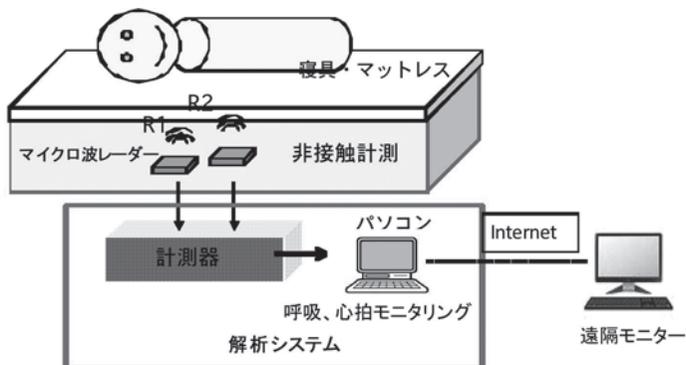


図1 システム全体図

のマイクロ波レーダーの電波強度は、電波防護指針 $1\text{mW}/\text{cm}^2$ の $1/100$ 以下程度であり長時間の測定が可能なのである(図1)。

呼吸は心拍に伴う体表面の微小な振動が存在する。健常な大学生の胸部にレーザーを照射し心拍に伴う体表面の動きを計測したところ 0.1mm 程度の体表面の微小振動が認められた。レーダーで計測される生体信号には、呼吸、心拍による微小振動、体動、ノイズなどが混在している。その原信号から呼吸信号を分離するために $0.015\sim 40\text{Hz}$ のバンドパスフィルタ (BPF) を、心拍信号を分離するために $0.7\sim 3.3\text{Hz}$ の BPF をかける。それぞれの信号に対し高速フーリエ変換を用いて周波数解析を行い、その後ピーク検出を用いて呼吸数、心拍数を算出する。R-R 間隔の算出は、抽出した心拍信号をもとに前もって設定した閾値より大きいピークに対するピーク間隔を計算して求めた。

2 介護現場における運用

2009年12月から2010年1月の間に特別養護老人ホーム福音の家にて高齢者13名 (88.0 ± 9.9 歳) の協力のもと実地運用を行った。本研究では高齢者が夕食後ベッドで横になる19時頃から翌日の5時までの10時間を解析の対象とした。リファレンスデータとしてホルター心電図を装着し、マイクロ波レーダーで算出した心拍数とホルター心電図の心拍数の比較を行った。

表1 心拍計測におけるレーダーとホルター心電図間の相関係数

高齢者	相関係数
S1	0.51
S2	0.27
S3	0.93
S4	0.19
S5	0.45
S6	0.57
S7	0.85
S8	0.48
S9	0.42
S10	0.56
S11	0.77
S12	-
S13	0.63
平均	0.05
標準偏差	0.22

3 結 果

表1は高齢者13名についてマイクロ波レーダーから非接触で算出した心拍数とホルター心電図による接触法で求めた心拍数間の相関係数の一覧である。

そこで、相関が最も高い高齢者の計測結果と相関が最も低い高齢者について、時間軸上でホルター心電図と比較した。図2は相関の高い高齢者の夜間の心拍数の推移であり、両方の計測結果が測定時間帯のほとんどの時刻で一致していることがわかる。相関の低い高齢者の場合、

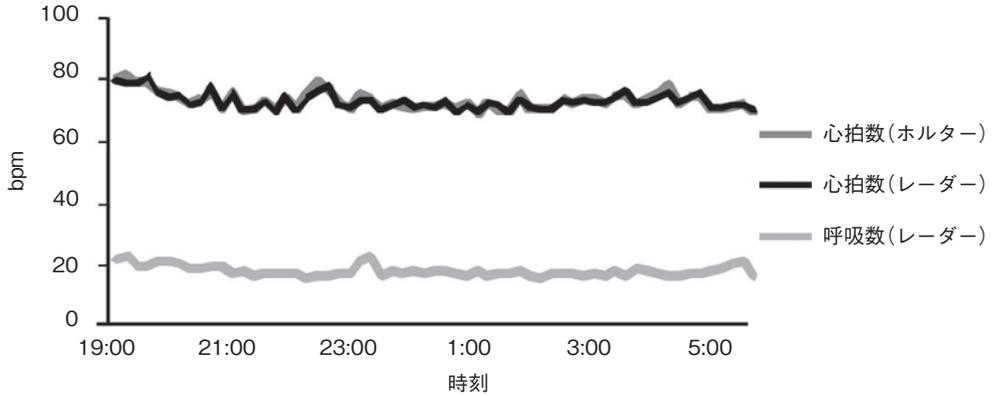


図2 相関の高い高齢者(S-3)の心拍数の推移(5分間平均)

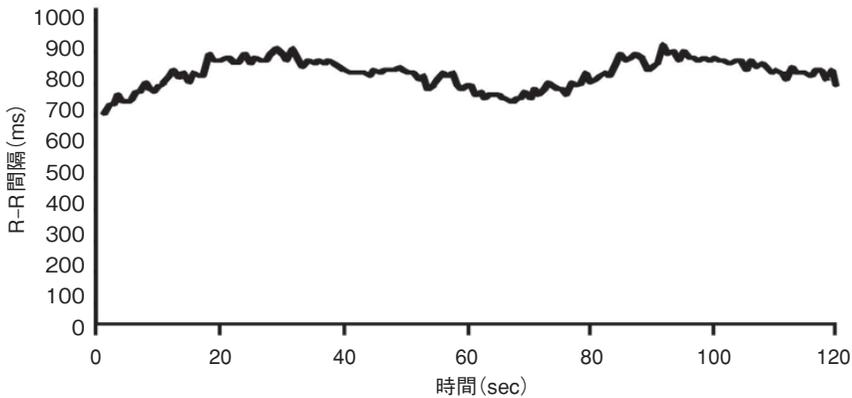


図3 R-R間隔の推移

レーダーとホルター心電図の心拍数が一致しない時間帯の出力信号をみると、呼吸信号は計測されているが、呼吸成分を取り除いた後の心拍信号に心拍のピークが計測されていないことがわかった。図3は2分間のR-R間隔の推移である。心拍信号が明確に計測できた症例においてスペクトル解析を行ったところ、交感神経と副交感神経指標のLF成分と副交感神経の指標のHF成分にそれぞれピークが認められた。

4 考 察

介護現場において高齢者見守りシステムの試験運用を行った。本システムのレーダーとホルター心電図により求めた心拍数の間に相関が

認められた。これはマットレスによる電磁波の減衰がほとんどなく、マットレスを介しても問題なく心拍数の計測が可能であることを示している。しかし、レーダーにより心拍信号を測定できない場合があり、その原因としては呼吸による体表面の動きが心臓の拍動に伴う振動に比べて約100倍の大きさであり、心拍信号が呼吸信号に埋もれてしまったことが考えられる。就寝中、体動により高齢者の姿勢や向きが変わることにより、レーダーと身体の相対的な位置関係が変わり、心拍の計測が困難となったものと推察される。一方で、体動のない安静時でもときとして心拍数の誤算出が認められた。これは、心臓の拍動に伴い振動する体表面とマイクロ波

レーダーアンテナの受信面との対向性(指向性)が最大の原因であると考えられる。R-R間隔の計測については、就寝中でも呼吸の影響が大きく、長時間安定してR-R間隔を求めることが今後の課題である。

ま と め

本研究で開発したシステムを介護施設で試験的に運用した結果、夜間における高齢者の心拍数についてホルター心電図との高い相関がみられ、高齢者の日常生活に影響がなくモニタリングが可能であり非接触計測の有効性が確認できた。また、心拍信号が十分に計測されている一部の時間帯では、ベッドの下から非接触でR-R間隔を求めることに成功した。今後、レーダーから心拍信号を抽出する方法の精度向上や長期間のR-R間隔の算出について研究を進めたい。

文 献

- 1) 三好禎子, 指定介護老人福祉施設における夜間介護労働の構造実態(1). 名古屋柳城短期大学研究紀要2005;27:131-9.
- 2) 渡辺嘉次郎, 渡辺春美, エアマットレス型無拘束生体計測の実用研究, 計測自動制御学会論文集2000;36:894-900.
- 3) 西田佳史, 武田正資, 森武俊ほか, 圧力センサによる睡眠中の呼吸・体位の無侵襲・無拘束な計測, JRSJ 1998;16(5):129-35.
- 4) 田中正吾, 歪ゲージを用いた呼吸及び心拍の無拘束無侵襲自動計測, SICE 2000;36:227-33.
- 5) 王鋒, 田中真美, 長南征二ほか, PVDFセンサを用いた睡眠時呼吸・心拍の無拘束無侵襲計測について-第2報: ウェーブレット変換を用いた呼吸心拍の検出, JSME annual meeting 2001 IV(01-1) p.263-4. 2001-08-22.
- 6) Xiao Y, Li C, Lin J. A portable noncontact heartbeat and respiration monitoring system using 5-GHz radar. IEEE Sensors J 2007;7:1042-3.
- 7) Li C, Lin J. Optimal carrier frequency of non-contact vital sign detection. Proc IEEE Radio Wireless Symp., Long Beach, CA, Jan. 9-11, 2007. p281-4.
- 8) Chen KM, et al. An X-band microwave life detection system. IEEE Transactions of Biomedical Engineering 1986;33:697-701.
- 9) Matsui T, Suzuki S, et al. The development of a non-contact screening system for rapid medical inspection at a quarantine depot using a laser Doppler blood-flow meter, microwave radar, and infrared thermography. J Med Eng Technol 2009;33:481-7.
- 10) Suzuki S, Matsui T, et al. Development of a non-contact and long-term respiration monitoring system using microwave radar for hibernating black bear. Zoo Biology 2009;28:259-70.