

平成30年6月18日現在

機関番号：56203

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12563

研究課題名(和文) 付け爪を応用した無拘束実時間心拍モニタリングデバイスの開発と在宅医療への展開

研究課題名(英文) Nail tip sensor toward health monitoring system for home medical care

研究代表者

石井 耕平 (Ishii, Kohei)

香川高等専門学校・機械電子工学科・講師

研究者番号：40710653

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：在宅医療における遠隔モニタリング用ウェアラブルデバイスとして、付け爪型脈波計の開発を行った。付け爪型脈波計の利点は以下に示す三点である。爪には汗腺、感覚神経がないことから、計測装置の装着に伴う不快な装着感がない。付け爪の要領で爪に固定することにより数週間にわたる強固な固定を確保できる。人体には20枚の爪があることから、複数のデバイスを異なる爪に取り付けることで、多点同時計測が可能である。本研究では小型脈波計測回路を開発、生活環境下における24時間脈波計測を実施した。取得した脈波から心拍数を算出した結果、心拍数の日内変動を確認することができた。

研究成果の概要(英文)：As remote monitoring device in home medical care, nail tip sensor which can be attached to fingernail is developed. Without any cable, this nail tip sensor can measure pulse wave in real time, and obtain heart rate by analyzing the data. Nail tip sensor can realize rigid fixation over a long period of time, due to hardness of the nail. Sensory nerves and sweat gland is not distributed in fingernails, therefore the sensor can be used without uncomfortable feeling. Multi point simultaneous measuring is also realized by the sensor, because human body has twenty nails. In this research, measurement circuit of the nail tip sensor is developed and pulse wave measurement in daily life environment is carried out.

研究分野：医用生体工学

キーワード：付け爪 脈波 ウェアラブルセンサ 在宅医療 遠隔モニタリング

1. 研究開始当初の背景

終末期の療養場所について 60%以上の国民が自宅を希望している。また 65 歳以上の高齢者数は 2060 年には約 40%と予想されている。この様な将来を見据えると、在宅療養患者の急変にいち早く気づくことのできる遠隔モニタリングシステムの重要性は言うまでも無い。ところが患者の生体情報を取得するためのセンシングデバイスは依然として開発途上である。例えばワイヤレス心電計は胸部への電極貼り付けが必須であり装着による違和感が避けられない。また入浴時はセンサの着脱が必要であり装着失敗や脱落のリスクがつきまとう。本研究ではセンシングデバイスの固定を切り口とした新たなアイデアに挑戦する。

2. 研究の目的

無拘束実時間心拍モニタリングデバイスを開発し在宅医療用遠隔モニタリングシステムへの展開を図る事が本研究の目標である。着目したのは“付け爪”である。心拍モニタリングデバイスを付け爪に内蔵する事ができれば次のような特徴を実現することができる。

- ①爪には感覚神経がないためデバイス装着時の装着感がきわめて少ない。
- ②付け爪のように長期間（2-4週間）にわたる強固な固定が確保できる。
- ③人体には 20 枚の爪が存在することから、多点同時計測が可能である。

本研究では上記の特徴を生かした心拍モニタリングデバイスの実現可能性について検討する。

3. 研究の方法

(1) 付け爪センサシステム

システムの概要を図 1 に示す。付け爪型脈波計にて計測された信号は無線通信により中継器へ送られる。さらにそこからインターネット回線を通じてモニタリング端末へと情報が送られる。これにより、計測対象者の動作を妨げることなく遠隔地でモニタすることが可能となる。



図 1 付け爪センサシステム

(2) 計測回路開発

脈波計測には反射型光電脈波計の原理を

用いる。心臓の拍動がもたらす血圧変動により、末梢血管は絶えず拡張、収縮を繰り返している。これによる血管の容積変化を光学的に検出するものである。

試作した脈波計測回路を図 2 に示す。光源として用いる LED は緑色とし、波長は 530nm のものを用いた。LED から照射された爪床に存在する毛細血管に反射し計測回路へ戻ってくる。この反射光をフォトダイオードにて検出、フィルタおよび増幅回路を経て出力する。出力信号は最大で $\pm 1.5V$ となるよう設計した。

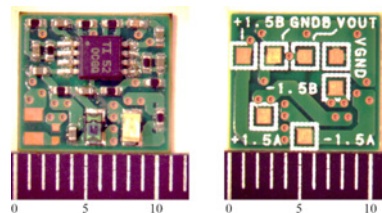


図 2 計測回路

(3) 安静時の脈波計測実験

椅子に座り安静状態で 10 秒間行った。対象とした指は左手の中指である。机の上に固定した計測回路に対して指をあて計測を行った。

(4) 動作時の脈波計測実験

椅子に座った状態で実験を行った。左手親指に小型脈波計測回路を取り付け、指の曲げ伸ばし動作を行うことで、脈波波形がどのように変化するか検討した。

(5) 生活環境下での脈波計測実験

生活環境下での実験では、手洗いや入浴といった水に触れることも多い。このような条件でも計測を継続できるよう、計測回路は紫外線硬化樹脂にて包埋することで防水性を確保した (図 3)。

計測回路の固定には接着剤を用い、図 3 のように左手親指の爪に固定した。電源およびデータロガーは左腕に固定し電源ケーブル、信号ケーブルにより計測回路と接続した。被験者は 33 歳男性とし 24 時間、サンプリング周波数 1kHz にて脈波を記録した。実験中は入浴、睡眠、食事を含む普段通りの生活を送ることとした。計測したデータについては LabChart の心拍数算出機能を用いて、心拍数に変換した。

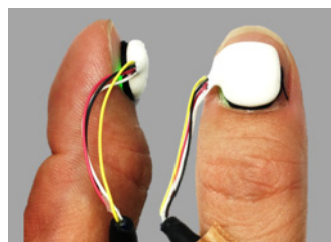


図 3 樹脂包埋した計測回路

4. 研究成果

(1) 計測回路開発

試作した計測回路の大きさは 11mm×11mm となった。消費電力は約 30mW であった。

LED、オペアンプ、フォトダイオード、それぞれの消費電力を調べた結果、回路全体の消費電力の大部分が LED によるものであった。入手可能な小型ボタン電池 (SR512SW) の容量は数mAh である。在宅医療現場にて 1 週間以上の連続使用を実現するためには消費電力の削減が重要となる。

(2) 安静時の脈波計測

得られた脈波波形を図 4 に示す。振幅±約 1.5V、周期約 0.6s、心拍数約 100BPM であった。また、ディクロティックノッチを観測することができた。このように脈波の特徴を有する特徴から、現状の計測回路構成にて十分な性能が得られることが示された。なお、本計測回路は緑色を用いて計測し、非反転増幅回路により増幅しているため、一般的な脈波波形とは正負が反転した波形となっている。

FFT によるスペクトル解析を行ったところ脈波である約 1.7Hz 付近において最も高い値を示した。また、60[Hz]においてもピークが見られたが、このノイズは商用電源によるものと考えられる。

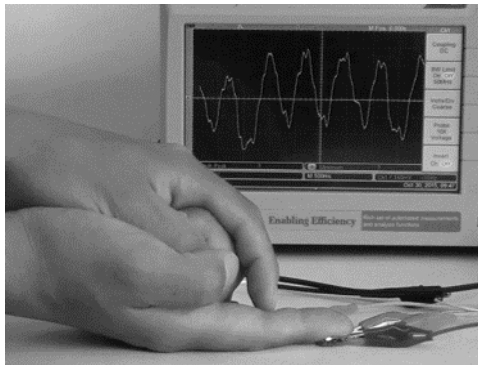


図 4 安静時の脈波計測

(3) 動作時の脈波計測実験

動作時に取得した波形を図 5 に示す。0～5s は安静状態であり、典型的な脈波波形が確認された。その後、指の折り曲げに伴い、マイナス側に値が変動、飽和状態に達した。その後、元の状態まで回復し再び脈波が確認された。次に指をもとの状態に戻したところ、プラス側に値が変動し、一時的に飽和状態に達した。その後、値は回復、脈波が確認された。その後、再度指の曲げ伸ばし動作を行い、同様の傾向が確認された。

(4) 生活環境下での脈波計測実験

24 時間の脈波を解析することにより得られた心拍数の変動を図 6 に示す。活動時間帯に比べて 23 時から 6 時までの睡眠時間帯は心拍数が低く、60BPM 前後であった。活動時

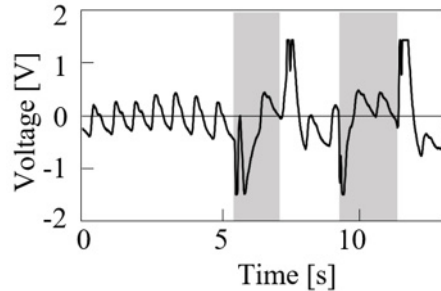
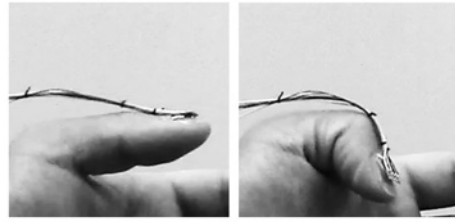


図 5 動作時の脈波波形

間帯については、80BPM 前後であった。また、活動時間帯については値の細かな変動が大きく、睡眠中は小さい結果となった。これは体動による外乱の影響が、睡眠中は小さいのに比べ活動中は大きいことが原因であると考えられる。睡眠中の心拍数について、最初は 70BPM 程度であるが、次第に低下し、午前 4 時ごろの値は約 50BPM 近くまで低下していた。

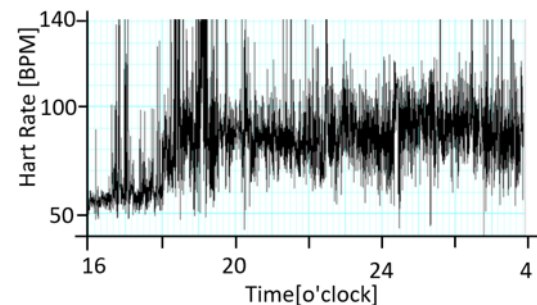
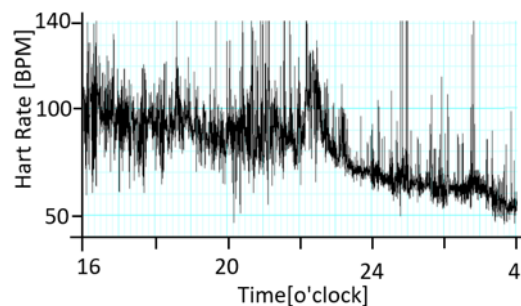


図 6 生活環境下における心拍数の変遷

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

① 石井 耕平, 平岡 延章, 付け爪型脈波計を用いた生活環境下での心拍モニタリ

ング、電気学会論文誌C(電子・情報・システム部門誌)、査読有、135巻、5号、2018、587-588
DOI:https://doi.org/10.1541/ieejieiss.138.587

[学会発表] (計8件)

- ① 石井耕平、皮膚に触れないウェアラブル脈波計：計測回路の開発と評価、第40回日本生体医工学会 中四国支部大会、2017年10月7日、岡山理科大学内50周年記念館 4階多目的ホール(岡山県・岡山市)
- ② 石井耕平、平岡延章、付け爪型脈波計を用いた脈波計測における動作由来の外乱の検討、平成29年電気学会 電子・情報・システム部門大会、2017年9月8日、サンポートホール高松(香川県・高松市)
- ③ 石井耕平、付け爪による無拘束実時間心拍モニタリングデバイス、平成29年度全国高専フォーラム、2017年8月22日、長岡技術科学大学(新潟・長岡市)
- ④ 石井耕平、平岡延章、付け爪型脈波計用小型センサを用いた生活環境下での24時間脈波計測、第56回日本生体医工学会大会、2017年6月5日、東北大学星陵オーデトリウム(宮城県・仙台市)
- ⑤ 遠山皓介、石井耕平、平岡延章、在宅療養患者の無拘束遠隔モニタリングを実現する付け爪型脈波センサ用計測回路の開発、第20回日本遠隔医療学会学術大会、2016年10月15日、米子コンベンションセンター(鳥取県・米子市)
- ⑥ 遠山皓介、石井耕平、平岡延章、無拘束脈波モニタリングを実現する付け爪型脈波センサの開発、平成28年電気学会 電子・情報・システム部門大会、2016年9月1日、神戸大学(兵庫県・神戸市)
- ⑦ 石井耕平、遠山皓介、付け爪型脈波計のための反射型光電脈波回路の開発、第55回日本生体医工学会大会、2016年4月28日、富山国際会議場(富山県・富山市)
- ⑧ 遠山皓介、石井耕平、付け爪型脈波計の実現に向けた小型計測回路の開発、日本機械学会中国四国支部第54期学術講演会、2016年3月9日、愛媛大学(愛媛県・松山市)

[産業財産権]

○出願状況(計1件)

名称：ウェアラブル脈波センサ
発明者：石井耕平
権利者：独立行政法人国立高等専門学校機

構

種類：特許

番号：特願2017-014027

出願年月日：平成29年1月30日

国内外の別：国内

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石井 耕平 (ISHII, Kohei)

香川高等専門学校・機械電子工学科・講師

研究者番号：40710653