

心疾患発症を検出するための就寝時心電計測システムの提案

武内良典^{†1} 劉載勳^{†1} 今井正治^{†1}

概要: 心疾患をもつ患者に対して、心電の計測を行い不整脈の確認をすることで、病気の再発を防ぐことは重要である。心電計測は通常病院で心電計を用いて計測するのが一般的であり、通常は大型の心電計測器と心電陽に設計された電極を用いた測定が必要であり、日常的に計測することは難しかった。本報告では、パジャマ、シーツ等に導電性繊維の電極を貼付し、日常的に就寝時に計測を行う心電計測システムを提案する。提案システムは、就寝時に心電データを計測保存、保存された心電データに対して自動的に不整脈検出を行うシステムである。

キーワード: 心電計測法, 心疾患, 在宅療養患者再発防止システム, QoL 向上支援システム

Proposal of a Bedtime ECG Measurement System for Detecting Heart Diseases

YOSHINORI TAKEUCHI^{†1} JEAHOON YU^{†1}
MASAHARU IMAI^{†1}

Abstract: Prevention of recrudescence at home care patients is important by detecting arrhythmia from their electrocardiographs (ECG). Conventionally, ECG is measured in hospital using full-fledged equipment with special electrodes designed for ECG, and it is not easy to measure ECG in daily time. This report introduces a daily ECG measurement method using night clothes and sheets with electrode by conductive textiles. Proposed system measures bedtime ECG of patient, stores it in the system, and detects arrhythmia doubtful waveform from stored data automatically.

Keywords: ECG measurement system, Heart diseases, Prevention system of recrudescence at home care patients, QoL support system

1. はじめに

循環器疾患である心疾患、脳卒中はガンに次ぐ日本人死因の原因である。高齢化社会を迎えている我が国では、現在この循環器疾患の患者数の増加が国民の健康寿命の短期化や医療介護費を膨らませており、循環器疾患の患者数の増加は我が国の深刻な問題となってきている。循環器疾患の患者は、発症時急性期病院で処置を受け、その後退院し自宅に戻るかリハビリ専門の病院へと転院し治療を続ける。また、リハビリ専門病院で治療後の患者は、療養型病床、介護施設等で治療を続けるが、半数近くの患者は、最終的に在宅での生活を送りながら、自宅で療養、リハビリを行っている。すなわち、急性期、回復期を経て、自宅で療養、リハビリを行うことになる。循環器疾患の段階と治療プロセスを図1に示す。循環器疾患は再発率が高い疾患であり再発すると重篤に至るケースが多い。在宅での生活を行う患者は、かかりつけ医による自宅での投薬・リハビリ運動・各種バイタル計測等のケア・プランを実行し、定期健診時に院内でのバイタル計測と問診、在宅でのバイタル計測の記録に基づいて、診断と指導が行われる。しかしながら、急性期を過ぎると、在宅でも計測可能なバイタル計測さえも継続的に行うことを怠ってしまうことも多く、日常生活

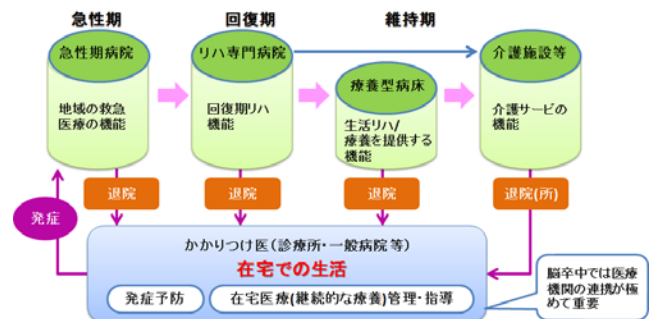


図1 循環器疾患の段階と治療プロセス

Figure 1 Cardiovascular disease step and medical treatment process.

を行いながら、無意識の内に計測を行えることが望まれていた。そこで、我々は在宅療養中の心疾患患者が利用可能な、就寝時に心電波形 (ECG: Electrocardiograph) の計測を長時間行うシステムを提案してきた[1]。心電波形を利用することで、心電波形中の不整脈の有無から、その心疾患患者の病状の兆候をモニターすることができるためである。通常、心電波形を計測するためには、病院で心電計を用いて計測するのが一般的である。また、長時間の計測が必要

^{†1} 大阪大学
Osaka University

な場合には、ホルター心電計と呼ばれる特殊な心電計を装着する必要がある。これらは、計測のための煩雑な準備を必要とすることが多く、計測される人間も計測を意識して行うことが多い。特に、ゲル等の電極を人体の体表にしっかりと貼付しなければならないため、毎日計測するには、計測前の事前の準備が煩雑で難しかった。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、第2節で本システムが使用される在宅療養患者再発防止システムのイメージについて説明する。次に第3節で就寝時心電計測システムへの要求をまとめる。第4節では、試作を進めている就寝時心電計測システムについて説明する。そして、第5節でまとめる。

2. 在宅療養患者再発防止・QoL 向上支援システム

本システムは、文科省地域イノベーション戦略支援プログラム(国際競争力強化地域)「無意識生体計測&検査によるヘルスケアシステムの開発」中の在宅療養患者再発防止・QoL 向上支援システムの一部である。想定している在宅療養患者再発防止・QoL 向上支援システムを図2に示す。在宅療養患者再発防止・QoL 向上支援システムでは、在宅で就寝時心電計測装置、カフレス血圧推定装置、リハビリ訓練支援システムを用いて、在宅療養患者の日常生活を妨げない生体計測、評価手段を提供する。これらの装置により計測された生体データおよび情報は、計測後患者の手を煩わせることなく健康見守りセンターに送られ、健康見守りセンターに常駐の医療従事経験者のコーディネータが、集められた生体データや患者問診のデータなどから患者の異常を察知し医師や関係者と連絡を取り合うサービスを提供する。本サービスは、在宅で療養、リハビリを行っている患者さんの日常的なデータを収集し、健康見守りセンターのコーディネータの支援で、患者が重篤にいたる状況になる前に、受診検診を進めたりすることを可能にする。本サービスの仕組みは、高齢化社会の在宅医療を見据えたサービスであり、病気の再発防止とともに、高騰していく医療費をも抑えていくものとして期待される。

3. 就寝時心電計測システムへの要求仕様

本節では、心疾患患者のための心電計測システムへの要求事項をまとめる。本システムは、無意識、無拘束での長時間の心電計測を行い、計測した心電波形から不整脈と疑わしき波形を検出し、計測した波形及び不整脈を健康見守りセンター内のサーバへ転送する必要がある。

これらを以下にまとめる。

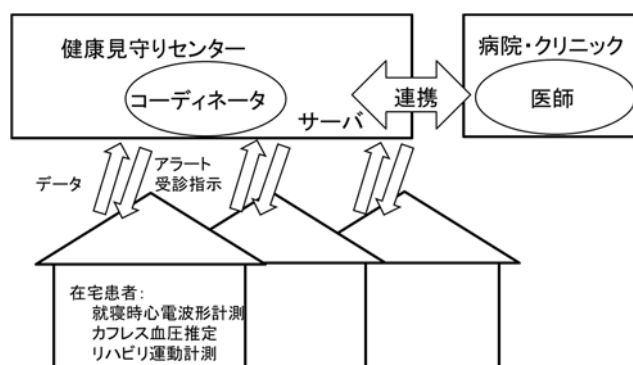


図2 在宅療養患者再発防止・QoL 向上支援システム
Figure 2 Prevention of recrudescence at home care patients/
QoL support system

- ・計測対象
 - ・心電波形 (ECG):
 - 不整脈検出を行うことが目的であるため、心電波形(図3)を計測する必要がある。特に、図4に示されている、QRS波の他、P波、T波を観測できる必要がある。
- ・計測法
 - ・無意識計測:
 - 日常的に計測したいので、毎日の煩雑な準備が必要ないことが望ましい。就寝時であれば、具体的には以下の項目がある。
 - ・睡眠前に計測装置装着の作業が必要ない
 - ・起床後に計測装置をはずす作業が必要ない
 - ・睡眠中に計測装置の装着感がない
 - ・無拘束計測:
 - 計測中に拘束感があることは、睡眠を妨げてしまうため、望ましくない。
 - ・睡眠中に計測装置の装着感がない
 - ・睡眠の動きを拘束されない
 - ・長時間計測:
 - 睡眠中に行うことで、長時間にわたる計測の可能性
- ・機能
 - ・不整脈検出:
 - 不整脈を自動検出することが望ましい。長時間のデータすべてを人が確認することは現実的ではないため、波形データからの自動検出を行う必要がある。
 - ・データ保存:
 - 計測したデータを保存機能が必要である。保存されたデータは不整脈検出を行うためにも利用される。
 - ・データ送信:
 - 定期的にサーバへデータを送信する必要がある。ただし、緊急時には即座にサーバ側にその状態が伝わることが望ましい。



図 3 心電波形
Figure 3 ECG

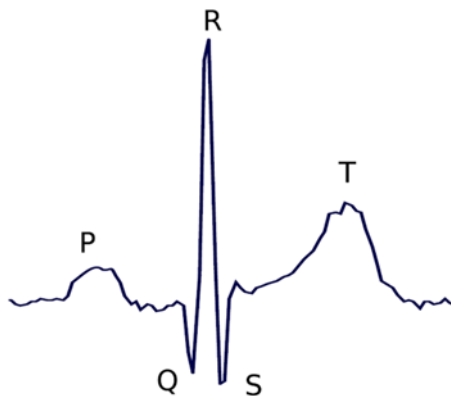


図 4 心電波形中の PQRST 波形
Figure 4 PQRST wave form in ECG.

以上の要求から，就寝時の心電計測を検討し，パジャマ，シーツ，ベッド等に計測のための仕組みを導入し，ゲル電極貼付のような特殊な準備なしに就寝時に計測を行う心電計測を行うシステムを提案する．

4. 就寝時心電計測システム

本節では，試作を進めている就寝時心電計測システムについて説明する．

4.1 システムの概要

提案する就寝時心電計測システムを図 5 に示す．

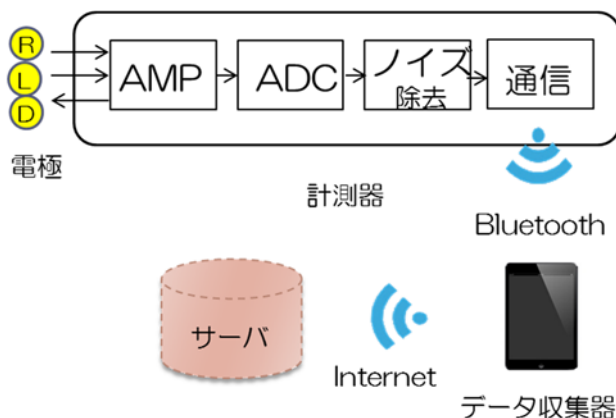


図 5 就寝時心電計測システム
Figure 5 Bedtime ECG measurement system.

図 5 で示されている就寝時心電計測システムは，電極部，心電計測部，データ収集部，および取得データの Internet 上のサーバへの送信部から構成されている．

4.2 電極

前節で説明した就寝時心電計測システムに求められる要求仕様より，電極は患者に装着感を感じさせない電極としてパジャマに縫製されている．この電極は，銀メッキされた糸で編まれた導電性繊維から作られており，抵抗値が低いとともに，肌触りも通常の繊維とまったく変わらない素材となっている．この電極を図 6(a)に示すようにパジャマに縫いつけ，パジャマを着た患者の肌に直接接触する仕組みとしている．パジャマに直接縫製しているため，患者は特に心電を計測するための準備という意識なく，装着の煩わしさなく日常どおりパジャマに着替えるだけで心電計測のための電極装着が可能となる．また，電極そのものが繊維製であるため，パジャマと一体化しており，電極を貼付されているという違和感がない長所がある．洗濯等については通常のパジャマと変わらない扱いが可能である．パジャマの導電性繊維性の電極で取得された心電信号は，パジャマの内側で患者と接触し，外側でシーツ側に貼付されたシーツ側の導電性遷移電極に伝えられる．シーツ側に伝えられた信号は，計測器へ入力され，増幅，AD 変換，ノイズ除去の処理が行われ，データ収集部へと伝えられる構成



(a)導電性繊維電極付きパジャマ



(b)シーツ側電極

図 6 導電性遷移を電極としたパジャマとシーツ
Figure 6 Night clothes and sheet with conductive textile electrodes.

となっている。図 6 (b)の写真では、プロトタイプのためシート電極からの配線が引かれているが、この配線もシートと一体化され、配線が就寝時の邪魔にならないように改良する予定である。したがって、患者はパジャマを着るだけで、通常の電極を装着したのと同じ状態となり、無意識、無拘束に心電計測を行うことが可能となる。パジャマ側の電極とシート側の電極は、数種の編み方による繊維の組合せを比較し、患者からの信号のピックアップ時に、電極同士の接触によるノイズ混入が最も少ない組合せを選択している。

4.3 電極位置

電極の位置については、図 7 に示す部分に電極が貼付されるように設計した。

電極位置は、3 点の場合、右手首、左手首、右足首とするのが基本であるが、本システムでは、図 7 の位置に決定した。電極位置を右手首、左手首、右足首に分けてしまうと、この 3 点の間で実配線によるワイヤリングを行わなければならない。配線は患者の拘束性を高めてしまうため、近隣している 3 点を選択した。しかしながら、今回の電極位置も、心臓を中心に位置するように選択した 3 点となっており、アイントーベンの三角形を満たす位置に電極が配置されており、第二誘導相当の波形が得られることを確認している。

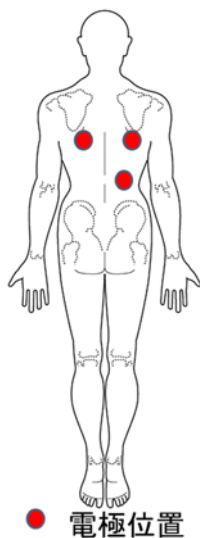


図 7 電極位置

Figure 7 Electrode position.

4.4 計測器

3 個の電極より、右腕相当の電位と左腕相当の電位との電位差を心電データとして取得する。1 電極は RLD (Right Leg Drive)回路[2]と接続されている。RLD 回路は、同相モードノイズを削減するための回路であり、微弱な心電波形

情報に重畳されている同相ノイズを削減する働きをする。その後、取得波形をアナログ/デジタル変換し、デジタルフィルタによりノイズ除去を行う。そのデータは、低消費電力駆動のために、Bluetooth を使って無線でデータ集積器へ送られる。

4.5 データ集積器

データ集積器では、計測器から受信した波形の表示、保存、および不整脈検出処理を行う。患者は測定された結果の波形を見ることができる。計測器より送られたデータは、まず標準的な PhysioNet の MIT-BIH で使われているフォーマット[3,4,5]に変換される。不整脈検出部は、このデータに対して、不整脈検出を実行する。不整脈の可能性のある波形に対して、不整脈の可能性有というアノテーションを波形に追加する。その後、アノテーションが追加されたデータは、見守りセンターに設置されたサーバへ転送され、医療従事者であるコーディネータにより、確認されることになる。

4.6 不整脈検出

不整脈検出アルゴリズムの詳細については、文献[5]で説明している。本システムでは膨大なデータを取り扱う必要があるため、機械学習により構築されたモデルを使って、不整脈判定を行う。不整脈判定には、図 8 に示す心電波形中の RR, PQ, QT 等の波形の間隔、P 波、T 波、QRS 波の形状を用いて行う。

表 1 に就寝時心電計測システムの仕様をまとめる。

表 1 就寝時心電計測システムの仕様

Table 1 Specification of Bedtime ECG measurement system.

<ul style="list-style-type: none">■電極部<ul style="list-style-type: none">・銀メッキ導電性繊維を100%使用した人体に優しい電極（ゲルが不要）・表面抵抗値：0.5Ω/cm以下■計測器<ul style="list-style-type: none">・ADC分解能：12ビット・サンプリングレート：360 サンプル/s・出力：Bluetooth Ver2.1■データ集積器<ul style="list-style-type: none">・データ受信：Bluetooth Ver2.1・データ保存：内蔵メモリにファイル管理・波形表示：心電波形のリアルタイム表示・不整脈検出：機械学習方式による自動検出、アラーム信号付与・データ転送：インターネットを介してサーバへ登録
--

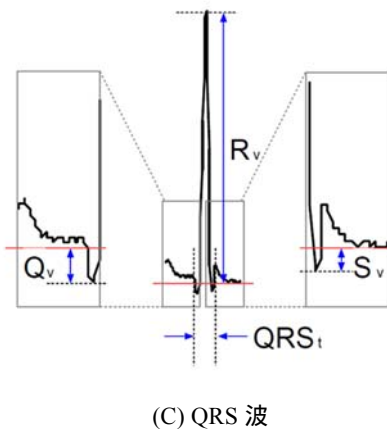
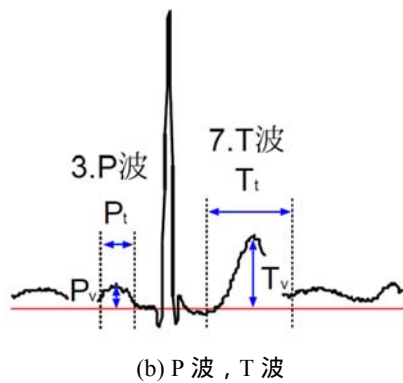
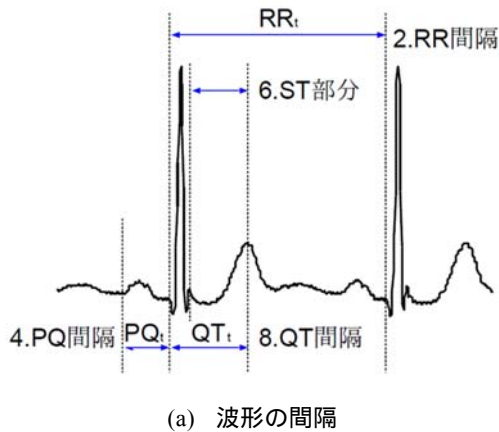


図 8 不整脈の判断基準

Figure 8 Judgmental standard of arrhythmia.

5. 試作システムによる測定

試作したシステムを使って、観測された波形を図 9 に示す。本波形は、いわゆる QRS 波形はもちろんのこと、P 波、T 波もはっきりと観測できていることがわかる。本システムでは、不整脈の自動検出を行うことを最終目標としているため、心房細動のような不整脈検出に不可欠な P 波、T 波が問題なく観測できることは重要であり、本システム構成で不整脈検出に必要な波形が得られていることが確認できた。図 10 に試作システムを使って、就寝時の心電を計測



図 9 試作したシステムで観測した波形
Figure 9 Measured ECG by prototype system.

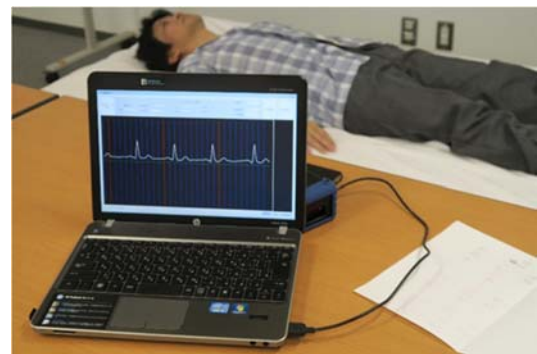


図 10 試作システム計測中の様子
Figure 10 Photograph of measurement by prototype system.

している様子を示す。導電性繊維性電極つきパジャマを着て、ベッドに横たわるだけで、心電波形の計測ができ、計測されたデータはサーバへ自動転送される。

6. おわりに

本稿では、心疾患発症を検出するための就寝時心電計測システムについて紹介した。提案したシステムは、在宅療養患者再発防止・QoL 向上支援システムの一部であり、システム中で就寝時に計測した心電波形と、その波形から自動抽出した不整脈と疑わしき情報をサーバに転送する役割を担当する。サーバに転送されたデータは、医療コーディネータが確認し、患者の異常の予兆が見受けられた場合、アラームをだし、医師と連絡をとり、患者への連絡を取れるような遠隔在宅療養システムの実現を目指す。心電波形の取得、不整脈の検出、サーバへのデータ転送等、個別の機能については研究開発が終了したので、今後の課題は開発したシステムを結合し、実際に本システムで取得した波形から不整脈が検出できることの確認を進めること、実際の現場での実施動作試験を行う必要がある。

謝辞 本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）の「循環器疾患患者を対象とした在宅ヘルスケア・システムの研究開発」および文科省地域イノベーション戦略支援プログラム（国際競争力強化地域）「無意識生体計測&検査によるヘルスケアシステムの開発」の成果である。本研究を進めるにあたり、生体計測の方法について様々な助言を頂きました大阪電気通信大学田村俊世先生、関根正樹先生に感謝します。システムの試作にご協力頂きましたジャトー株式会社小西雅彦氏に感謝します。また、日頃、本研究の推進にご協力頂きました関西文化学術研究都市推進機構の塩山忠夫氏、阪本久男氏、笠原伸一氏に感謝します。

参考文献

- [1] 武内良典，劉載勳，山中達哉，Arif Ullah Khan，関根正樹，今井正治．就寝時心電取得のための無意識生態電位計測システムの提案．情報処理学会研究報告，pp. 1-6, 2015, (ETNET 2015 (EMB36)).
- [2] Winter, Bruce B.; Webster, J.G., Driven-right-leg circuit design, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, ,pp.62-66, Vol. BME-30, Issue: 1, 1983.
- [3] Moody GB, Mark RG. The impact of the MIT-BIH Arrhythmia Database. IEEE Eng in Med and Biol 20(3):45-50 (May-June 2001)
- [4] A.L. Goldberger, L.A. Amaral, L. Glass, J.M. Hausdorff, P.C. Ivanov, R.G. Mark, J.E. Mietus, G.B. Moody, C.-K. Peng, and H.E. Stanley, Physiobank, physiotoolkit, and physionet components of a new research resource for complex physiologic signals, Circulation, vol.101, no.23, pp.e215-e220, 2000.
- [5] PhysioNet MIT-BIH Arrhythmia Database, URL: <https://www.physionet.org/physiobank/database/mitdb/>
- [6] 平尾優香，劉載勳，武内良典，今井正治，ECG の可変形状モデルに基づく不整脈検出アルゴリズム，電子情報通信学会技術報告 SIS 研究会，2016年3月予定。