

容積脈波法を用いたステアリング装着型簡易連続血圧計の開発

荒川 俊也^{*1} 榊原 規彰^{*2} 近藤 針次^{*2} 小塚 一宏^{*1}

Development of Steering-type Continuous Blood Pressure Measuring System Using Finger Plethysmogram

Toshiya Arakawa^{*1}, Noriaki Sakakibara^{*2}, Shinji Kondo^{*2} and Kazuhiro Kozuka^{*1}

Abstract – It is important to manage health of long-distance driver and reduce the fatal accident due to improper driving state. Thus, steering-type continuous blood pressure measuring system using finger plethysmogram was developed. This system is consisted of steering-type sensor and tablet PC, which is used as display of blood pressure.

Keywords: Driver State, Blood Pressure, Plethysmogram

1. はじめに

より「すこやかな人生(wellbeing)」を過ごすために、日々の生活のなかで健康(healthy)に生きることを願い、自らその努力をすることが、ひとつの望ましい生活のあり方として意識され始めている^[1]。この意識の高まりが、人々のライフスタイルに基本的な変化を生じさせており、国家的戦略構想とも関連し、ヘルスケアの領域における新規事業の可能性や開発が注目を浴びている^[1]。例えば、通信機能付き高機能歩数計を携帯し、日々の身体活動量や体重・体組成データを歩数計に保存、データベースに取り込んでリアルタイムで評価するシステム^[2]や、iphoneに体重や消費カロリー、血糖値、コレステロール値のデータを集約し、健康状態を「見える化」するアプリケーションが実用化されている^[3]。健康状態を示す指標は様々であるが、脳卒中、心臓病、腎臓病などの強力な原因疾患であり、急速な高齢化が進行している状況や、生活習慣の欧米化の進行を考えると、高血圧の治療の対策と予防がますます重要な課題となっている^[4]。

自動車を日頃運転する場合、特に職業運転手について考えると、不規則な勤務ローテーションやジャスト・イン・タイムによる睡眠時間の低下、休憩時間の短さなどが影響して、高血圧や動脈硬化などの基礎疾患が悪化、労働不能な状態や死に至るといった過労死事例が多い^[5]。そのため、職業運転手においては、常日頃自身の体調を管理する習慣を付け、無理な運転を極力控えるという意識付けが必要になる。これは過労死を防ぐだけでなく、運転者の疾病により、脇見や運転操作不良、認知能力低下など、運転に影響する症状の発現を防ぎ^[6]、事故の低減にも繋がるのが期待できる。

一方で、自動車の運転では、近年の予防安全に関する

意識の高まりを受けて、ドライバ状態を検出するシステムの普及も目立つ。例えば、車載カメラによってドライバの瞼の開閉度を検出するシステム^[7]や、ステアリングを把持した状態で心拍数を検出し、過度な緊張状態や不整脈などの状態を推定するシステム^[8]が開発されている。これらの技術のように、ドライバ状態を検出するシステムの形態としては、ドライバの運転行動を妨げない、非接触・非侵襲的なシステムが望ましい。

先のヘルスケアの内容と併せて考えると、職業運転手が労働不能な状態や、死という状態に陥らないようにし、更に、運転に影響する症状の発現を防ぐと共に事故の低減を図るためには、運転時であっても体調管理を行うシステムを構築することが望ましい。それに加えて、ドライバ状態を素早く検出し、生理状態の変化によって運転に影響を及ぼさないような、非接触・非侵襲的なシステムも組み込むことができれば、より利便性が高いシステムになると言えよう。

そこで筆者らは、職業運転手が運転時に血圧を計測し、なおかつ、血圧を指標としたドライバ状態を検出できるシステムの構築を目指している。その一環として、本論では、ステアリングに装着することが可能で、運転時にドライバがステアリングを把持しながら、容積脈波法を用いて血圧を計測できるシステムの開発について述べる。

2. 開発内容詳細

2.1 システム概略

今回は机上で動作する簡易ドライビングシミュレータへの適用という位置付けで開発を行った。そのため、プレイステーション4(ソニー・コンピュータエンタテインメント製)のレースゲーム遊戯時における血圧計測が可能なシステムを開発した。システム開発にあたってベースとなるステアリングには、ステアリングコントローラーfor Playstation 4(ホリ株式会社製)を用いた。ステアリング装着型血圧計はタブレットPCとBluetoothで通信し

^{*1}: 愛知工科大学 工学部

^{*2}: 株式会社ケーアンドエス

^{*1}: Dept. of Engineering, Aichi University of Technology

^{*2}: KANDS Inc.

ており、血圧計によって取得された心拍および血圧のデータは Bluetooth を介して送られ、タブレット PC の表示インタフェースによりリアルタイムで心拍および血圧が表示される。システムの外観を図 1 に、システム図を図 2 に示す。なお、今回、センサをステアリング把持部に 2 箇所のみ付けている理由は、今回用いたステアリングコントローラーはステアリングの回転角にして $-90[\text{deg}] \sim +90[\text{deg}]$ の範囲のみ回転する仕様であり、運転時にドライバがステアリングを把持する箇所が大きくは変わらないことから、いわゆる「10 時 10 分」の把持位置のみにセンサを設置してある。



図 1 開発したステアリング装着型連続血圧計の外観
Fig.1 Appearance of Developed Steering-type Blood Pressure Measurement System.

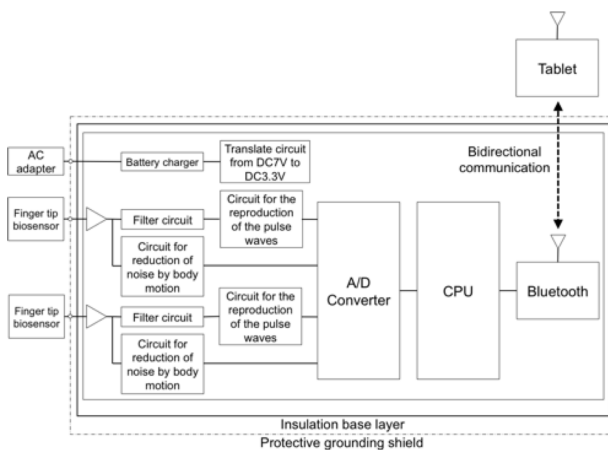


図 2 開発したステアリング装着型連続血圧計のハード構成
Fig.2 Hardware Configuration of the Steering-type Continuous Blood Pressure Measurement System.

2.2 測定原理

先行研究である従来の血圧計では、上腕部に巻いたカフ帯に空気を送り込んで血管を圧迫し、一旦血流を止めてから減圧したときに得られるカフ帯内の圧脈波遷移を計算式に当てはめて血圧値を測定・校正した後、バイオセンサで測定した容積脈波(血流変化量)の推移から血圧を演算していた。しかし、本システムでは、ハンドルに取り付けたバイオセンサより皮膚に赤色(赤外光)を照射

し、光電脈波とその積分値である容積脈波(血管内の血流変化量)の推移を拍動毎に検出し、平均血圧値と等しくなるように基準光量を決定する。血管内の血流量および血液内のヘモグロビン容態と血管弾性率等を算出し、これらの算出結果を踏まえて血管の収縮及び拡張状態から収縮期血圧値(最高血圧)、拡張期血圧値(最低血圧)を連続的に演算可能である。詳細な測定原理は先行研究^{[9],[10]}に基づいている。なお、バイオセンサは左右把持部の 2 箇所に存在するため、片手運転の場合でも測定可能となっている。バイオセンサにより得られた光電脈波は、体動除去回路とフィルタ回路に分けられる。フィルタ回路通過後は脈波再生回路を通してデジタル化処理した後、CPU で体動除去回路との比較演算処理とデジタルフィルタ処理を行い血圧演算部分に渡され、血圧波形及び血圧値としてアウトプットされる。

2.3 既存技術との比較

非接触型センシング技術を活用して血圧を計測する技術として、指で触れるだけのカフなし血圧計^[11]や、ステアリングで心電や脈波を測定し運転中の体調急変を予測するシステム^[12]が存在する。前者は、カフを用いずに血圧を計測可能ということは大きな強みであるが、現状、指尖脈波を検出するシステムとなっている。そのため、運転時というシチュエーションに適用する場合は、ステアリング裏側など、把持時に指尖が触れると想定される位置のように装着位置が限られると考えられる。後者は、ステアリング把持時に脈波を検出し、この脈波データより、脈波の伝搬時間と複数のデータベースより推定血圧を算出するシステムである。しかし、複数のデータベースと組み合わせることを前提としているため、システムの規模が大きくなり、量産車に搭載する際のコストが懸念される。加えて、両システムともに、連続的に血圧を測ることはできない。

今回開発したシステムは、これらの技術と比較すると、血圧を連続的に計測することが可能であり、計測も比較的容易であることを特徴としている。また、先述の通り、実際の運転シチュエーションを想定し、体動の影響も考慮した設計を行っていることも特徴である。そのため、運転時に血圧の時系列データを計測することで、日々の健康管理は勿論のこと、時間毎の詳細な健康管理も可能となる。

2.4 動作の様子

実際のシステムと、表示インタフェースにより心拍および血圧が連続的にリアルタイムで表示されている様子を図 3 に示す。本システムを用いて約 10 名の成人男性の血圧を計測した。概ね自己申告の血圧値(従来の血圧計で計測した値)に近い値で血圧が計測できていた。しかし、ステアリングを転舵させた場合はセンサと把持部の隙間が生じたり、体動の影響により、計測精度が若干悪化した。



図3 システム全体図と血圧表示例

Fig.3 Appearance of Total System and Display Example of Blood Pressure.

3. まとめ

本論では簡易ステアリング装着型連続血圧計の開発について述べた。職業運転手の健康管理という観点や、非侵襲的なシステムのため装着感が無く、校正や測定時にドライバが受けるストレスがほぼ皆無である点で実用性があると考えられる。実際の走行シチュエーションを想定すると、ステアリングを転舵させた場合の計測精度を十分に担保する必要があるため、今後は、精度向上のための手法や設計を進めていく。更に、発展的なシステムとして、筆者らが進めている、血圧を用いたドライバ状態検出・推定システム^[13]との融合も検討していく。

謝辞

本研究は平成 26 年度愛知工科大学特別研究推進プロジェクト「次世代自動車技術 PR を目的としたドライバ一状態推定システムの開発」の支援を受けて実施された。

参考文献

- [1] 目黒昭一郎: ヘルスケア領域におけるマーケティングの発想と展開(1) -新たなマーケティング発想に基づく新規事業開発試論-; 麗澤経済研究, Vol. 19, No.1, pp.56-71 (2011).
- [2] 久野譜也, 福田佳奈子: 個別健康支援プログラム提供システム~ewellness システム~; 【次世代】ヘル

スケア機器の新製品開発, 株式会社技術情報協会, pp.321-326 (2014).

- [3] Apple-iOS8-ヘルスケア, Apple 社ホームページ, <https://www.apple.com/jp/ios/whats-new/health/>
- [4] 日本高血圧学会, 高血圧治療ガイドライン 2014 (2014).
- [5] 川村雅則: 職業運転手の労働をめぐる問題; クルマ社会を問い直す, Vol. 44, pp.20-23 (2006).
- [6] 国土交通省自動車交通局自動車運送事業に係る交通事故要因分析検討会, 事業用自動車の運転者の健康管理に係るマニュアル(2010).
- [7] ITmedia Lifestyle, ドライバーの”顔色”うかがう安全システム, <http://www.itmedia.co.jp/lifestyle/articles/0510/20/news085.html> (最終検索日 2015 年 7 月 6 日)
- [8] 株式会社メディカルトリビューン, 運転中の心臓発作をいち早くキャッチ-トヨタなどが開発; あなたの健康百科, <http://kenko100.jp/articles/110930000187/> (最終検索日 2015 年 7 月 6 日)
- [9] 近藤針次, 下山一郎, 増田和実, 井奈波良一, 春名芳郎, 榊原規彰: 非観血容積脈波連続血圧測定法と観血式連続血圧測定法による血圧及び心拍出量評価; 医工学治療, vol. 22, no.1, pp.3-10 (2010).
- [10] Shinji Kondo, Ichiro Shimoyama, Akio Yoshida, Hidekiyo Yoshizaki, Fumiaki Hayashi, Keiichi Nagao and Shigeto Oda, “Minimal invasive estimation of blood pressure for continuous monitoring,” Chiba Medical Journal, vol.84, no.1, pp.19-25 (2008).
- [11] 日本経済新聞, スマホ対応の「指に触れるだけ」血圧計、日大が開発, http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK1903B_Z11C13A1000000/ (最終検索日 2015 年 7 月 6 日).
- [12] 日経デジタルヘルス, トヨタとデンソーなど、ステアリングで心電・脈波を測定し運転中の体調急変を予測するシステム, <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20130326/273292/?ST=ndh> (最終検索日 2015 年 7 月 6 日).
- [13] Toshiya Arakawa, Masayasu Tanaka, Fumiaki Obayashi, Shinji Kondo, Kazuhiro Kozuka: Detection of Driver's Surprised State Based on Blood Pressure; ICIC Express Letters, Part B: Applications. (in press)

付録

参考として、本手法に基づく血圧計測の妥当性を述べるため、参考文献[9]に基づき、本手法による血圧変化と、カテーテル法による血圧変化の比較結果について説明する。

室温 $23.6 \pm 0.35^{\circ}\text{C}$, 湿度 $64.2 \pm 2.3\%$ に環境設定された

実験室内で、実験協力者（心疾患等の循環器疾患の既往が無く、日頃持久的トレーニングを行っていない健康男性 18 名、平均年齢 24.5 ± 5.3 歳、平均身長 168.7 ± 5.5 cm、平均体重 64.4 ± 6 kg）8 名に対し、血圧および心拍計測による体調の確認後、十分にストレッチを行い、橈骨動脈にカテーテルを刺入する(カテーテル法)と共に、耳朶部位にセンサを装着する(容積脈波法)ことで連続して血圧を測定した。なお、全ての実験協力者に対してインフォームドコンセントを得た上で実験を実施しており、実験前日夕方より飲酒、カフェイン含有飲料、その他刺激物の摂取または高強度の運動を禁止し、実験を終えるまでは控えるように指示している。

実験は、エルゴメータ上で 3 分間の安静を保った後、無付加でのクランク運動によるウォーミングアップから徐々にクランク運動の負荷を高め、次第に弱めていくという、3 分間毎のステージから構成される多段階運動負荷プロトコルに基いて実施した(図 4)。血圧および心拍の連続データは 30 秒間隔で平均化している。

結果を図 5 に示す。図 5 中、RBP は容積脈波法による血圧、A line はカテーテル法による血圧の値である。容積脈波法による血圧の平均値 140.3 [mmHg]、標準偏差 15.1 [mmHg]であった。また、カテーテル法による血圧の平均値は 145.9 [mmHg]、標準偏差は 18.7 [mmHg]であった。また、容積脈波法とカテーテル法による血圧の相関係数は 0.88 であった。従って、容積脈波法による連続血圧計測の値はほぼ実際の血圧と等しいと言える。

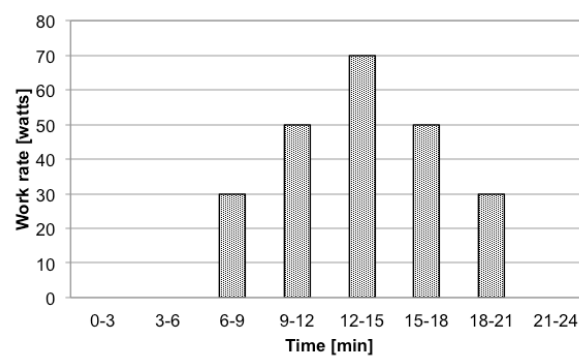


図 4 多段階運動負荷プロトコル
Fig.4 Protocol of Multi-step Exercise Test.

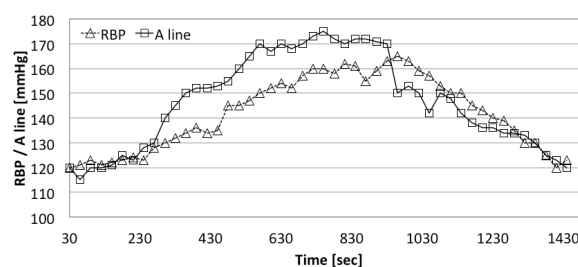


図 5 容積脈波法とカテーテル法の比較
Fig.3 Comparison between RBP and A line.