Study on the Improvement of Photo-electric Plethysmograph

光電脈波計の高性能化に関する研究

Yuichi KUSAKA and Kenji IKEDA

Department of Biomedical Engineering, School of High-Technology
for Human Welfare, Tokai University

317 Nishino, Numazu, Shizuoka 410-0395, JAPAN

TEL: 81-559-68-1211 (ext. 4527) FAX: 81-559-68-1156

(Received 14, November 1998 Accepted 12, June 1999)

Photo-electric plethysmograph has been widely used to measure caradiac pulse rate. However, the sensing device is remained without any improvement, even though the opto-electronic technology has been highly refined recently. In order to get rid of low-temperature burn, which is often experienced in long-term, continuous applications, and to guarantee motion-free measurements, we develop a new type of photo-electric sensing device. The ddesign criteria and the merit of the prototype device are discussed in some detail.

Keywords: Photo-electric plethysmograph, Pulse rate measurements, Opto-electronic device

I. INTRODUCTION

光を用いた計測の発端となった光電脈波計の歴史は古いばかりでなく、現在でも殆ど改良されることなく開発当初の方式のまま用いられている。極めて簡便に心拍数が測れるので、とくにエルゴノメータやトレッドミルでの運動負荷や、スポーツにおけるテレメータ計測で頻繁に使用される。^{1,2}しかし、指先で皮膚の反射光のわずかな強度変化を測定する光電脈波計の測定法式は本質的に振動に弱く、運動中の計測には必ずしも最適とはいえない。さらに、通常の小型白熱電球と光導電素子による方式では、かなりの熱放散があり、終夜睡眠実験や在宅でのヴァイタルサインモニタなどに利用しようとすると、測定部位の皮膚に低温火傷を生ずる恐れさえあって、長期連続計測には使用し難い面がある。われわれはこれらの欠点を除き、健康増進施設や在宅での健康管理に、体動による雑音の混入もなく安心して長期連続使用し得ることを目標に、最近急速な進歩を遂げた、超高輝度発光ダイオードとフォトトランジスタ等の光電素子を合理的に組み合わせ、新方式の光電脈波センサの開発を行っている。

II. PROBLEMS IN TRADITIONAL PLETHYSMOGRAPH

現在一般に用いられている反射式光電脈波センサの構成は、大きな発熱を伴う小型白熱電球と硫化カドミウム(CdS) 光導電素子各1個の組み合わせであり、この発光素子と受光素子は、最適な組み合わせというよりは、開発当時に容易に使用し得た素子であったに過ぎず、発光素子の波長分布や受光素子の波長感度特性が必ずしも最適かどうか疑問である。また、受光素子に密着する部分の指腹部の皮膚を斜1方向から白熱光で照射する構造になっているために、体動により指の皮膚とCdSの間に空隙ができたり、接触圧が変動したりすると受光量が大きく変動し、基線の動揺となる。従ってある程度の光路長の変動に対し、受光量が大きく変化しない構成の必要がある。

III. USE OF NEWLY DEVELOPED OPTO-ELECTRONIC DEVICES

最近急速な進歩を遂げた高輝度発光ダイオードには、伝統

的な赤色光のほかに、黄、緑、青の原色を含む代表的な色光、さらには白色光のものも入手可能になっており、またいずれも白熱電球に比べ熱の放散が少なく、発光効率が極めて高い。この中で黄及び青の発光ダイオードは、予備実験により本目的に適合しないことが知られている。また、受光素子にも発光ダイオードと適合性の高いフォトトランジスタが、視野角が自由に選べ、かつ極めて高感度のため有利に利用できる。近赤外光及び可視光であれば波長感度特性にも問題が少ない。さらにこれらの新しい素子には極めて小型の素子があり、発光・受光素子の配列に制限が少ない利点もある。

IV. IMPROVEMENT OF SENSOR ARRANGEMENT

Figure 1a に示すように中央に配置されたフォトトランジスタ (直径3mm) を6個の同径の発光ダイオードが取り囲むように配置した。このような配置にすることで、指腹部の皮膚があらゆる方向から照明されるので、外部からの雑音光の影響が軽減される。また、光路長の変動に対し、受光光量の変化を少なくすることができる。つまり、照明される皮膚から光源を見込む立体角が殆ど180度で一定あり、かつ、受光立体角は狭く、受光量変動を抑えることができる。

FIG. 1. Arrangement of opto-electronic devices

V. EXPERIMENTAL PROCEDURE

予備実験により青色光にはメリットがないことが知られているので、赤、白、緑の3色の発光ダイオードの検出性能を比較する実験を行った。実験用脈波センサの配置はFig. 1bに示すように、6個の発光ダイオードの頭部が形作る平面に受光素子の頭部が一致するもの(平型)、その面より受光素子が約2mm奥にあるもの(凹型)、同じく約2mm飛び出した位置にあるもの(凸型)の3種類について実測を行った。凹型では、皮膚の表面の反射の影響を大きく受け、凸型に移行するにつれ、皮下組織内の散乱光の影響を大きく受けることになる。実験用脈波センサ及び増幅部の回路をFig. 2に示す。各色光において受光素子に同一の平均光電流が生ずるように、発光ダイオードの印加電流をVRで調整し、相互の特性比較を可能にした。

VI. RESULTS

Figure 3に 実験結果の一部、発光ダイオードの色光の違い及び受光素子の取付位置の違いによる検出脈波形を22歳男性2名の被検者について示す。振幅及び波形にはかなりの個人差が予想されるが、いずれも赤色光に比べ緑色光の振幅が2倍以上大きいことが知られる。白色光についてはそれら2色光の間でないし緑色光寄りの結果となった。振幅及び波形には個人差があるが、血行の程度や冷え性の程度と振幅の大きさとの間には、一応の傾向があるものの必ずしも完全な相関はないようである。いずれの測定例についても受光素子が発光素子と同一面(平型)でないし、それより突出している(凸型、図面省略)のが好都合であり、このことは皮膚表面の反射光でなく、皮膚組織内の後方散乱光を利用するほうが検出能力が高まることを意味している。現在、データ数も少なく十分な検討がされていないが、単に発光・受光素子の配置をFig. 1の形状にするのみでも、従来方法より極めて安定な脈波検出が可能となることが示唆されている。

VII. DISCUSSION

赤色光に対しては脈拍による後方散乱光の光量変化が少なく、緑色光が最も大きかった。ヘモグロビンが赤色光をよく透過し、その補色である緑色光を吸収することを考慮すれば当然の結果と言えるが、ごく最近開発された高輝度緑色発光ダイオードの利用によってはじめてそのメリットが活かせることになった。

振幅についての個人差は第1義的に末梢血行量の大小に依存すると考えられるが、そのほかにも皮下脂肪や皮膚色素の分布にも関係があるかも知れない。今後検討すべき課題が残されているが、心拍数を良好に計測する手段としてのみ捉えるのであれば、個人差のために計測が左右されるほどの相違ではない。

受光素子を発光素子を取り囲む配置については、十分なメリットがあるものと考えられる。このような構成を可能としたのは高輝度で高能率かつ小型のデバイスが容易に入手できるようになったことが最大の原因である。しかし、検出振幅が全く動揺しなくなったわけではない。

接触圧の変化による基線動揺は前述のように直感的に軽減されたことが認められるが、定量的な確認は行っていない。従来型の脈波センサとの比較を行うべきである。また、呼吸による振幅変動も見られ、酸素飽和度の変化による検出振幅の変動があることが判っているが、その詳細の検討は今後の課題である。

FIG. 2. Circuit diagram for the experiment

FIG. 3. Comparison of the results
A: Subject A, B: Subject B

VIII. CONCLUSION

小型白熱電球と光導電素子(CdS)を利用する通常の光電脈波センサの欠点である長期連続使用による低温火傷の発生や、体動等による計測の不安定性を回避するために、新しい光電素子を組み合わせることによって、長期使用可能な脈波センサを構成することを目的に基礎事項の実験的検討を行った。

その結果、従来殆ど考慮されていなかった使用色光の選択に自由度が得られ、とくに緑色光の使用と受光素子を取り囲む発光素子の配置によって良好な脈波検出が可能となることが知られた。さらに脈波検出システム全体の構成を検討、改良することにより、激しい運動中や一般家庭での使用を可能にすることを目標に検討を続けたい。

REFERENCES

- Ito, H.: Introduction to Medical Engineering for Medical Students, Saikon Pub. Ltd., p.82-84, 1984
- Hosaka, H.: Introduction to ME(Medical Engineering), Tokyo Denki Univ. Press, p.171-172, 1984

Presented at '98 SAS Intelligent Symposium