

眠気の数値化

6年C組 熊谷 充弘

指導教員 藤野 智美

1. 要約

私は日常生活の中で生じる眠気を制御したいと考え、眠気に関連する脈拍や血中酸素濃度の観測を行うことで「眠気の度合いを数値化する」ことを目指した。そこで、赤色LEDとフォトトランジスタを利用した電子回路を組み込み、ヘモグロビンによる光の散乱・吸収を観測することから脈拍を算出する装置を自作した。

キーワード LED、フォトトランジスタ、高速フーリエ変換、吸光度、血中酸素濃度

2. 研究の背景と目的

私は学校生活において、ある特定の授業で眠くなってしまう経験があり、自身の眠気のメカニズムとその制御方法について興味を抱くようになった。

そこで、「特定の環境」で眠くなるということに注目し、眠気に関連する体内作用についての文献調査を行なった。文献調査を生かし、「メラトニンなどの睡眠ホルモンの分泌によって眠くなっているのではなく、メラトニンや気温などの外的要因によって変化する体内環境(血圧や血中酸素濃度)が変化する事によって眠くなるのではないか」という仮説を立てた。この仮説を自らの技術力で確かめ、IoTと連動した「眠気数値化装置」を開発し、眠気指数が上昇した際にカーテンやエアコンを自動制御して「眠気を感じない学習環境作り」を目指した。

3. 研究内容

3.1 眠気の評価方法の考案

眠気というのは、個人の感覚であり、客観的な評価を行う方法は未だ確立されていない

い。そこで私は、睡眠ホルモンとしてよく知られている「メラトニン」が、副作用として「血圧」を低下させる事に注目し、観測する体内環境として血圧を選んだ。

一般的に販売されている血圧計は圧迫することで測定を行うため、被験者に刺激を与え眠気を阻害してしまう。しかし、正確な眠気のモニタリングを行うためには、圧迫することなく測定が可能である血圧計が必要であると考えた。そこで私は参考文献[1]より、平均血圧の算出式(1)と、平均血圧の算出に必要な心拍出量の算出式(2)を得た。
$$\text{平均血圧} = \text{心拍出量} \times \text{全挿消血管抵抗} \quad (1)$$
$$\text{心拍出量} = \text{一回拍出量} \times \text{心拍数} \quad (2)$$

このことから、平均血圧を測定するためにはまずは「心拍数」を測定する装置を自作することにした。

自作を選んだ理由として、一般的に販売されている心拍数測定装置には連続的に測定する機能がなかったり、測定データを出力する機能が付いていなかったりと、思い通りの測定機能が無かったことがあげられる。

3.2 具体的な心拍数の測定方法

心拍数とは、心臓が周期的に血液を送り出すことによって発生する拍動が1分間に何回発生するのかを表した数値である。その測定には、血液中に含まれるヘモグロビンの存在と、ヘモグロビンによる光の吸収・散乱の傾向が大きく影響する。図1のように、物体に光が入射した際、それらの光は反射・屈折・吸収・散乱し、どの波長の光がどの程度吸収・散乱されやすいかは物体によって固有である。

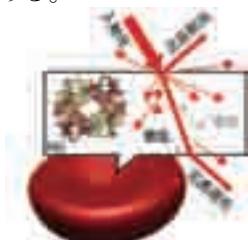


図1 物体に光を入射させた際の経路

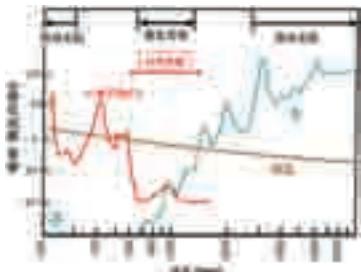


図2 水とヘモグロビンの光の吸収・散乱の強さ

(参考文献[2]より引用)

図2より、皮膚の主成分である水とヘモグロビンについて次の特徴が読み取れる。

- ・ ヘモグロビンと水は、600 nm~900 nmの波長の光に対する吸収が小さいため、これらの波長の光を皮膚の上から照射すると、皮膚内部にまで光が透過することができる。
- ・ 波長 660 nm(赤色)の光を皮膚に照射すると、水はほとんど吸収・散乱を起こさないが、ヘモグロビンでは若干吸収・散乱される。

そこで私は、660 nm付近の波長の光を皮膚に照射し、光の散乱・吸収の量の変化を観測することによって、ヘモグロビン量の増減を捉えることができると考えた。

照射した光のうちヘモグロビンによって散乱された光の光量を測定する手法として、光エネルギーを電流値に換算する電子部品である「フォトトランジスタ」で受信し、そのわずかな変化を「オペアンプ」で増幅する方法を用いた。センサーには、LEDとフォトトランジスタ一体型の「NJL5501R」(新日本無線株式会社販売)を用いた。

また、オペアンプから出力される電圧の周期的な増減を、高速フーリエ変換(FFT)を用いて解析し、最も多く含まれている周波数を心拍の周期とした。さらに、参考文献[3]より、一般的な心拍は 0.7 Hz~3.0 Hz であることがわかったため、FFT で得られるパワースペクトルのうち、0.7 Hz~3.0 Hz の部分のピークを調べることで、ノイズを抑える工夫を行った。

これらの解析および記録は、FFT や SD カード関係のライブラリが豊富であるという理由から、「Arduino pro mini (5v)」を使用した。以下が自作した心拍測定装置である(図3)。

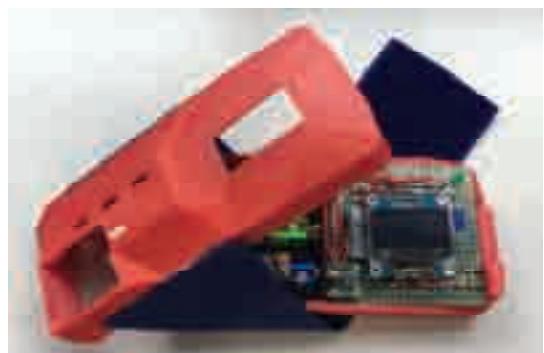


図3 自作した心拍数測定装置

3.3 市販品との比較実験

次に、自作した心拍数測定装置(以下、「自作品」)が精度よく心拍数を測定できているか比較する実験を行った。具体的な比較実験の方法としては、Panasonic の血圧計 EW-BW33(以下、「市販品」)と自作品の装置を両腕にそれぞれ装着し、測定された心拍数を比較した。その結果のグラフを図 4 に示す。なお、グラフの横軸は測定値を取得した時間である。

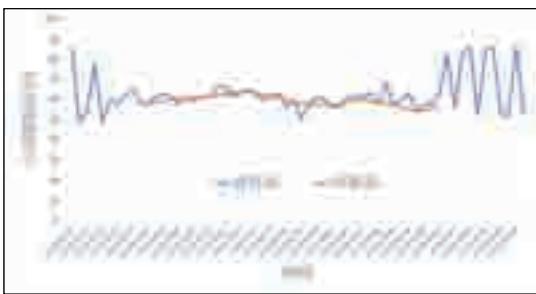


図 4 市販品と自作品との比較実験

図 4 より、装置の着脱時であるグラフの最初と最後の部分では心拍数が正しく測定できていないが、腕を机に固定した範囲での自作品の平均値は 54.3 回/分、市販品の平均値は 59.2 回/分であった。この結果から、十分な精度で心拍数を測定できていることがわかった。

3.4 血液回転装置を用いた検証実験

3.3 では、心拍数を精度よく測定できている事が確認されたが、自作品が実際に正しくヘモグロビン量の変化を捉えられているのかの検証実験を試みることにした。実際の生体で行うのは困難であるため、鳥肉と牛レバーの血を用いて生体のモデルを作成して検証実験を行った。ヘモグロビン量が周期的に変化する様子を再現するために製作した血液回転装置の詳細を次に示す。

モーターの回転する強さをプログラムする事ができる LEGO MINDSTORMS のモーターに CD を固定し、その上に 1 cm 四方の製氷皿を図 5 のように取り付けた。製氷皿に滴下する牛レバーの血液の滴数を 1~20 滴で変化させ、モーターを回転させることでセンサーを通過する血液量が周期的に増減するように工夫した(図 5)。



図 5 血液回転装置の外観

また、皮膚のモデルとして約 6mm の厚さに切った鶏肉をセンサーの上に固定して実験を行った(図 6)。



図 6 皮膚のモデルとして使った鶏肉

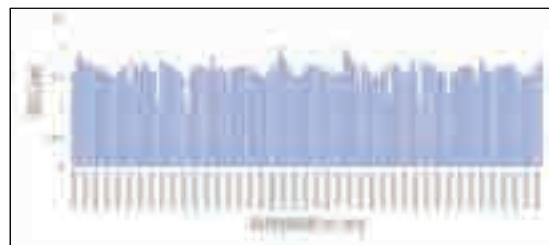


図 7 血液回転装置での測定データ

実験結果(図 7)から、わずかに周期的な反射光量の変化を確認できた。しかし、この実験では血液量と反射光量の相関関係が不明であり、滴下数の変化によるセンサーと血液面との距離の変化が問題点であると判断し、実験方法を変更した。

3.5 血液量と反射光量の相関

3.4 で示した検証実験の問題点を解決するため、内径 1 cm のアルミパイプの底面に透明なプラスチック板を貼り付けた自作容器の下にセンサーを置くことでセンサーと液面の距離を一定にした(図 8)。この容器に牛レバーの血液を 1 滴ずつ滴下していく、血液の量、つまりヘモグロビンの量の変化と反射光量の変化を測定することにした。



図 8 新しく自作した血液容器

この検証実験に対して、「ヘモグロビン量が増えるに応じて反射光量が増えるだろう」という仮説を立てた。

しかし、実際の測定データのグラフ(図 9)を確認したところ、予想に反して血液量の増加に伴い、反射光量に相当する電圧値が下がり、一定値に収束することがわかった。



図 9 ヘモグロビン量と反射光量の関係

この事から、「ヘモグロビンは赤色光も若干吸収する」という事がわかった。また、途中から反射光量が一定値になった理由として、照射した光がほぼ全て吸収され、それ以上へモグロビンを滴下しても影響しなくなつたからだと考察している。

3.6 血中酸素濃度の測定

ヘモグロビンについての調査を行う中で、2 種類の波長の光の吸収された割合を測定する事で、ヘモグロビンの酸化度合いである血中酸素濃度を観測する、「パルスオキシメーター」と呼ばれる技術がある事を知った。また、使用していた「NJL5501R」には 660 nm と 940 nm の 2 種類の LED があつたため、「血中酸素濃度」を測定する装置を自作し、眠気との相関を測定しようと考えた。

パルスオキシメーターの原理として、肺で酸素と結合したオキシヘモグロビン(oxyHb)と、デオキシヘモグロビン(deoxyHb)の 2 種類がよく吸収する波長の違いを利用し、吸収される波長の割合を調べることで 2 種類のヘモグロビンの含有量を算出する方法である。この方法を応用しようと考え、2 種類のヘモグロビンの吸光スペクトル(図 10)を調べたところ、940 nm における 2 種の吸光度の変化が小さく、先の研究での考察と同様、現時点での設備や私の知識では体動によるノイズの中で血中酸素濃度を測定する事は非常に困難であると考えたため、測定には至らなかった。

図 10 ヘモグロビン量と反射光量の関係

(参考文献[4]より引用)

4. 結論

本研究では次の 2 点の成果が得られた。

- ①ヘモグロビン量の変化を観測する際には、反射光よりも吸収された光を観測する方が有効であることがわかった。
- ②ヘモグロビン量の変化を観測し、FFTで周波数の解析を行う事で、測定部位を固定すれば高い精度で心拍数を測定可能な装置を自作できた。

5. 考察

眠気の数値化をより科学的な方法で研究するならば、すでに眠気との相関があるとされている「脳波」との比較実験が必要であるが、脳波を測定する実験設備がなく、同時に医学的な見地からのアプローチも必要である。これらの理由から、眠気の数値化に関する研究は、大学進学後に専門的な研究設備を有する研究所と連携して、医学分野の専門知識をもつ人と協力して研究を進めたいと考える。

6. 今後の展望

心拍数測定の際、光が血管まで到達できるように、本研究では赤色の光を使用した。しかし、ノイズによる影響を抑えるためには、輝度が高く、変化が大きく現れることを期待するならば、ヘモグロビンでの吸収が強い緑色の波長の LED やレーザーの使用が有効であると考えている。

加えて、血中酸素濃度の測定を試みた際に学習した「2 波長の吸光度を観測することで試料の酸化度合いを観測する」技術を何か他の分野に応用できないかという検討を行っている。

7. 参考文献

- [1] 「脈圧測定の臨床」,小澤利男, (2015

- 年),http://www.arterial-stiffness.com/pdf/no08/009_015.pdf
- [2] 文部科学省「第3章 健康なくらしに寄与する光 3 光を用いた非侵襲生体診断」,山田幸生
- [3] ROHM 「ウェアラブル脈波センサーの研究開発」
<https://www.rohm.co.jp/news-detail?news-title=ウェアラブル脈波センサーの研究開発&defaultGroupId=false>
- [4] 佐藤英雄,特許第 5948836 号, 2016

8. 謝辞

本研究活動において、眠気についての質問をさせていただいた筑波大学国際統合睡眠医科学研究機構の雀部正毅准教授や顧問の藤野先生に多大なるご協力やアドバイスをいただきました。この場をお借りして、深く感謝申し上げます。