

RR 間隔と眠気の強さの相関関係を利用した 眠気推定手法の考案

A method of sleepiness estimate by a correlation between RR interval and sleepiness

○ 福島怜 (東大院) 金子成彦 (東大院)

Rei FUKUSHIMA, The University of Tokyo
Shigehiko KANEKO, The University of Tokyo

Key Words: RR interval, sleepiness, VAS

1. 序論

高齢化率が今後も上昇を続ける我が国において、介護する側の人間にかかる負担を低減することは重要である。例えば高齢者向け施設において、高齢者の心身状態を離れた所においても把握出来る装置の発明は、介護者の負担低減に寄与する。

心身状態を評価する有用な指標の一つとして、心理学や生理心理学の分野において、RR 間隔が用いられている。RR 間隔とは、心拍の時間間隔である。RR 間隔は一定ではなく、1 拍毎に変化しており、この変化が自律神経の活動を反映している。自律神経とは、ヒトの生体を制御し、活発または安静な状態へと導くものである。そこで、RR 間隔の変化を元に、自律神経の活動を評価し、生体状態を推定する試みが多くなされている^{[1][2]}。

睡眠障害を持っている高齢者は多く、高齢者が覚醒状態か睡眠状態か、また覚醒状態ならその時の眠気の強さを離れた所から把握する装置は有用である。現在、ベッドに横になるだけで RR 間隔を求めるのに必要な脈を測定することが出来るマット等が開発されている^{[3][4]}。しかし、RR 間隔から眠気を推定する有用な手法はない。

そこで、本研究では、RR 間隔から、眠気の強さ、睡眠状態か否かを推定する手法を考案することを目的とした。

2. 実験

本研究では、RR 間隔と眠気の強さの関係を検討するために、RR 間隔を測定しながら、眠気の強さの変化を記録する実験を行うこととした。

RR 間隔は脈波中のピーク間の時間間隔に相当する。NONIN 社製の成人用フィンガークリップセンサ 8000AA で脈波を測定し、測定した脈波データをデジテックス研究所製の Polymate II AP216 を用いて収録した。この脈波データから RR 間隔を求めた。後の解析のために、RR 間隔はサンプリング周期 250msec で線形補間を行った。

眠気の強さの評価には、代表的な主観的評価の尺度である Visual Analogue Scale (VAS)^[5]を用いた。VAS は、水平な 10cm の線分の両端に「とても目覚めている」、「非常に眠い」と書かれたものである。被験者は、現在の眠気が線分中のどの部分に当てはまるかを判断し、線分中に印を付ける。一方の極である「とても目覚めている」から印までの距離を mm 単位で測定し、その距離が眠気得点となる(図 1)。

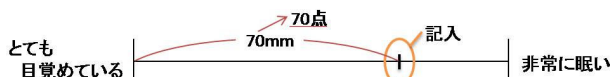


Fig. 1 An example of evaluation with VAS

実験は、室温 27°C の約 5m² に仕切られた薄暗い空間で行った。被験者は、左手人差し指に脈波測定用センサを装着し、サンプリング周波数 200Hz で脈波測定を行った。また、被験者は外部音を遮断するために耳栓をした。実験中、被験者は前方約 50cm にあるタイマーを視て時間を把握する。

実験に際して、以下のような条件を定めた。眠気の強さ以外の条件が RR 間隔に与える影響を軽減するために、全被験者において、実験開始時刻を 14時から 15時の間とし、実験 2 時間前からの食事、喫煙を禁止した。なお実験は、心拍が安定するように、被験者が着座して 5 分経ってから開始することとした。また被験者が、実験中に意図的に目を閉じるといった、眠ろうとする行為は禁止とした。しかし、顔を叩く、伸びをする等の覚醒行為を行わないようにし、どうしても眠い時は眠っても良いこととした。実際に眠ってしまった場合、睡眠中の時間帯の VAS は空白になる。

実験の概要は以下の通りである。被験者は、60 分の間着座姿勢で、タイマーを見ながら 1 分毎に VAS を用いて自分の眠気を記録した。その間、被験者の脈波を測定した。なお、図 2 に実験シートの記入例、図 3 に実験で用いたタイマーと実験風景を示す。ただし、図 2 は 5 分間分の VAS の記録であり、実際の実験シートは 60 分間分の VAS から成っている。なお、図 3 の実験環境の写真は照明が点いている状態の写真である。

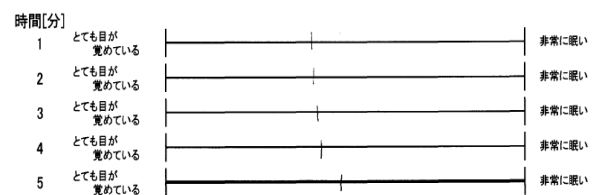


Fig 2 An example form of filling in the experimental sheet for 5 minutes



Fig 3 The timer used in the experiment (left) and experimental view (right)

3. 結果および考察

本研究で実験を行った6人の被験者の年齢、身長、体重を Table 1 に示す。

Table 1 Information of subjects

Subject	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Gender
A	23	177	75	Male
B	22	169	61	Male
C	23	170	55	Male
D	23	173	65	Male
E	23	175	75	Male
F	22	172	73	Male

3-1 RR 間隔とその WMA および眠気得点の推移

図 4 に被験者 A の実験結果、すなわち RR 間隔、RR 間隔の 500 点線形加重移動平均 (WMA) および眠気得点の推移を示す。m 点 WMA は次式 (1) で求めた。

$$WMA_i = \frac{mp_i + (m-1)p_{i-1} + \dots + 2p_{i-m+2} + p_{i-m+1}}{m + (m-1) + \dots + 2 + 1} \quad (1)$$

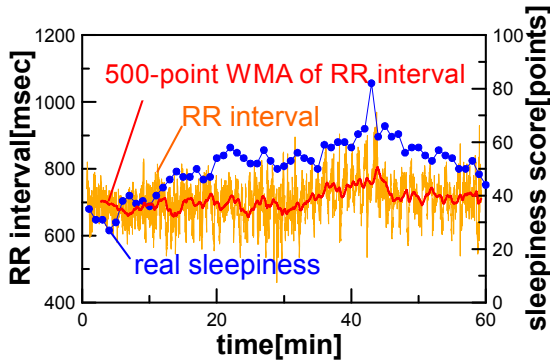


Fig. 4 Changes of RR interval and 500-point WMA of it and sleepiness score of subject A

3-2 RR 間隔 WMA と眠気得点の相関

6人の被験者の実験結果より、RR 間隔の 500 点 WMA と眠気得点が似たような推移をしていることを著者は確認した。

そこで、RR 間隔の 500 点 WMA と眠気得点の相関の強さを定量的に評価するために、各被験者毎に両指標の相関係数を求めることとした。実験の方法上、眠気得点は被験者が記入する時刻、つまり 1 分毎にしか存在しない。そのため、相関係数を求める際のデータには各分毎における RR 間隔の 500 点 WMA と眠気得点を用い、これらのデータ対の数を n_s とした。また、睡眠中の時間においては眠気得点が存在しないため、その時間におけるデータは相関係数を求める際に用いることは出来ない。したがって、 n_s は実験中に睡眠による不記載がなければ 1, 2, ..., 59 分のデータ 59 点であり、睡眠による不記載があればその分だけ減少する。上記述べたように、RR 間隔の 500 点 WMA と眠気得点のデータ対から、式 (2) を用いて相関係数を計算した。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_s} (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n_s} (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

ここで、 x_i, y_i はそれぞれ RR 間隔の WMA と眠気得点であり、 \bar{x}, \bar{y} はそれぞれのデータ列の平均値である。

表 2 に各被験者の相関係数を示し、相関係数が有意水準 1% であることは $p < 0.01$ で表している。表 2 を見ると、被験者 C 以外においては高い相関係数が得られている。このことは、被験者 C 以外においては、RR 間隔の WMA と眠気得点に強い相関があることを示している。

Table 2 Correlation coefficient between WMA of RR interval and sleepiness score (* : $p < 0.01$)

	相関係数 r
被験者 A	0.52*
被験者 B	0.61*
被験者 C	0.19
被験者 D	0.58*
被験者 E	0.74*
被験者 F	0.47*

ここで、被験者 C の相関係数が低い理由について考察する。図 5 に被験者 C の実験結果、すなわち RR 間隔、RR 間隔の 500 点 WMA および眠気得点の推移を示す。この図より、RR 間隔の 500 点 WMA と眠気得点に急激な変動が複数見られることがわかる。そこで、RR 間隔の WMA は RR 間隔と位相がずれるので、RR 間隔の 500 点 WMA と眠気得点の位相がずれ、相関係数が低くなったと著者は考えた。

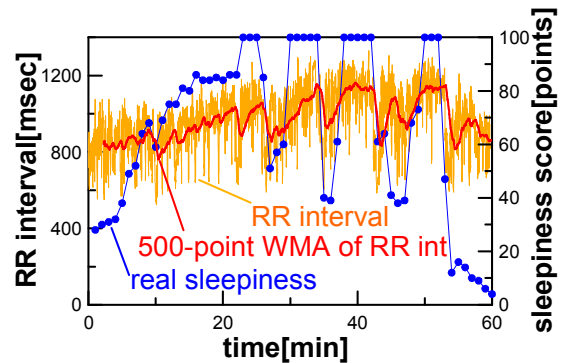


Fig. 5 Changes of RR interval and 500-point WMA of it and sleepiness score of subject C

次に、RR 間隔の WMA を求める際のデータ点数 m がどの値の時に、RR 間隔の WMA と眠気得点の相関が強くなるのかを調べた。RR 間隔 WMA を求める際のデータ点数 m を変化させた際の、RR 間隔の WMA と眠気得点の相関係数の値を図 6 に示す。このグラフより、被験者 C 以外においては、この相関係数が比較的高くなる時のデータ点数 m は 1000 点であると著者は判断した。

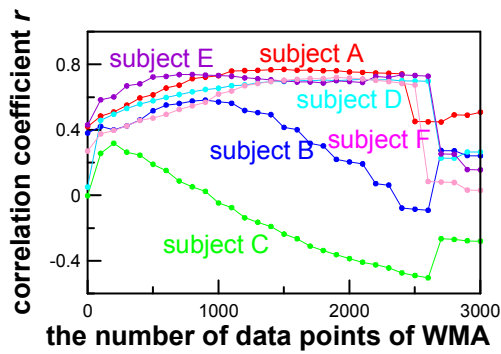


Fig. 6 correlation coefficient when the number of data points used to calculate WMA changes

3-3 眠気推定手法の考案

3-2 節より, RR 間隔の 1000 点 WMA と眠気得点に強い相関があることがわかった. そこで, この相関関係の強さを利用して, RR 間隔の 1000 点 WMA から眠気を推定することを考える.

図 7 に RR 間隔の 1000 点 WMA と眠気得点の散布図を示し, 最小 2 乗法によって両指標から近似した 1 次関数を描いた. 図 7 より, この 1 次関数は各被験者固有の関数であることがわかる.

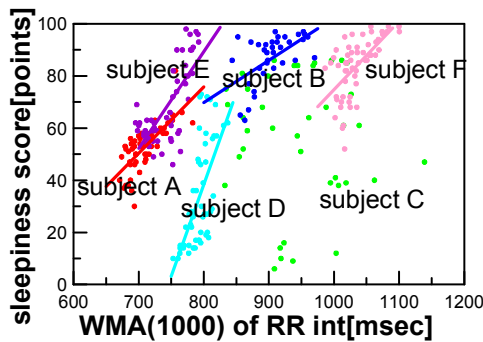


Fig. 7 A scatter plot between RR interval and 1000-point WMA

この各人固有の 1 次関数を眠気推定関数 $s(x)$ と定義する. この眠気推定関数は, RR 間隔の 1000 点 WMA から眠気得点に変換する関数である. 事前に被験者固有の眠気推定関数が分かっていると, この関数を用いて, RR 間隔の 1000 点 WMA から眠気得点に変換することが出来る. このようにして得られる眠気得点が, 実際の眠気を推定出来ているかどうかを以下で確かめていく.

眠気推定関数の有用性を確認するために, 被験者 A に 2 回目の実験を行った. 1 回目の実験で求めた眠気推定関数 $s_{A1}(x)$ (図 8) を用いて, 2 回目の実験の RR 間隔の 1000 点 WMA (図 9) を変換し, 推定眠気得点が得られた. この推定眠気得点と 2 回目の実験で実際に記録して得られた眠気得点を比較した. 両者の推移を図 10 に示す.

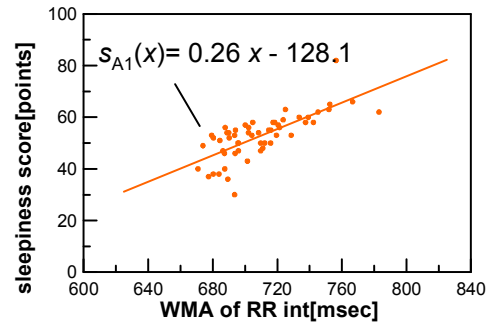


Fig. 8 The sleepiness-estimate function of the subject A

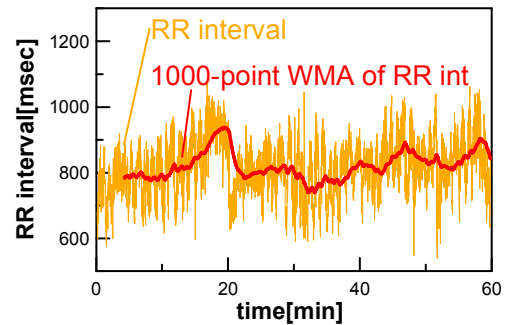


Fig. 9 RR interval and 1000-point WMA of it in the second experiment of the subject A

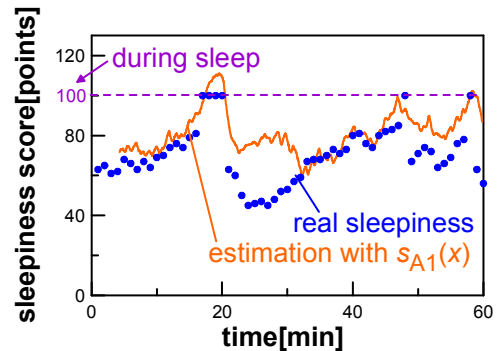


Fig. 10 sleepiness score of the first experiment and one estimated with $s_{A1}(x)$

図 10 より, 被験者 A の実験開始後 10 分後半の睡眠中の時間帯, 40 分後半と 50 分後半とに存在する 1 分だけの睡眠中である時刻を全て推定出来ている. 20 分から 30 分以外の時間帯においては, 眠気の推定も概ね一致している.

同様に, 眠気推定関数の有用性を確認するために, 被験者 B においても 2 回目の実験を行った. 1 回目の実験で求めた眠気推定関数 $s_{B1}(x)$ (図 11) を用いて, 2 回目の実験の RR 間隔の 1000 点 WMA (図 12) を変換し, 推定眠気得点が得られた. この推定眠気得点と 2 回目の実験で実際に記録して得られた眠気得点を比較した. 両者の推移を図 13 に示す.

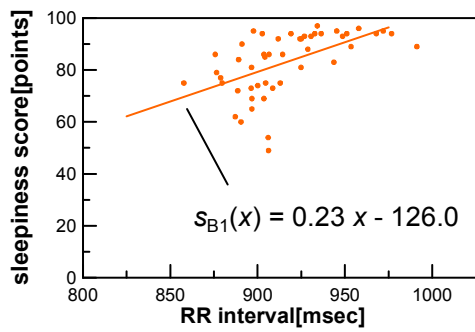


Fig. 11 The sleepiness-estimate function of the subject B

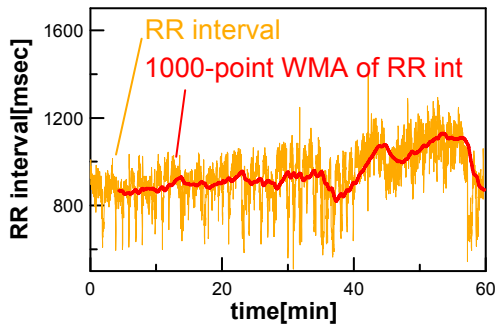


Fig. 12 RR interval and 1000-point WMA of it in the second experiment of the subject B

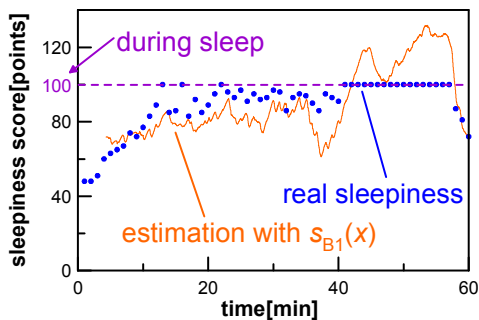


Fig. 13 sleepiness score of the first experiment and one estimated with $s_{B1}(x)$

図 13 より、被験者 B の実験開始後 10 分から 20 分前半に存在する 1 分だけの睡眠中である時刻は推定出来ないが、40 分後半から 50 分後半に存在する睡眠中の時間帯は推定出来ていることがわかる。

これらの被験者 A、被験者 B の眠気推定関数の有用性を確認する実験結果より、眠気推定関数を用いることで、被験者の眠気や覚醒状態か睡眠状態かを推定出来る可能性があることがわかった。

今後は、被験者の数を増やし、この眠気推定関数を用いた眠気の推定法が普遍的に適用可能であるかどうかを調べる必要がある。

4. 結論

(1) 平滑化した RR 間隔と主観的な眠気の強さには相関がある。

(2) 本研究で考案した眠気推定関数 $s(x)$ を用いて、RR 間隔から、眠気の強さ、睡眠中であるかどうかを推定することが出来る可能性がある。

参考文献

- [1]伊賀崎伴彦ら, 心電図RR間隔ゆらぎと糖尿病, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.95, no.501, pp.25-30, 1996
- [2]西田裕介ら, 施設入所高齢者における低強度運動負荷時の心拍変動: 周波数解析を用いた自律神経活動の評価, vol.33, no.1, pp.1-6, 2006
- [3] 積水ハウスHP, 非接触・非拘束型生体センサーシステム, <http://www.sekisuihouse.co.jp/company/newsobj1480.html>, 最終アクセス日: 2010/07/08
- [4]TANITA HP, 睡眠計スリープスキャン, <http://www.tanita.co.jp/products/models/sl501.html>, 最終アクセス日: 2010/07/08
- [5]Monk TH, A Visual Analogue Scale technique to measure global vigor and affect, Psychiatry Res., vol.27 no.1, pp.89-99, 1989