

# Verification of the Effect of Illuminance on Work-Related Stress

Tomoki HIRAI<sup>\*\*</sup>, Mitsunori MIKI<sup>\*</sup>, Minoru ITO<sup>\*\*</sup>, Masashi NAKAMURA<sup>\*\*</sup>

(Received January 8, 2019)

In recent years, reductions in work efficiency and the chronicity of stress and labor-related fatigue have increasingly become problems. In this study, we aim to measure the degree of stress using heart rate variability measured by electrocardiograms and clarify the influence of differences in illuminance on stress caused by office work. The questionnaires used in this study revealed the most comfortable illuminance levels; the stress and work efficiency levels at the highest comfortable illuminance were also verified. In addition, based on the measurements, we verified the optimum illuminance level that reduces stress and increases work efficiency. Thus, the illuminance that provides the highest comfort level also caused less stress for the subjects. Furthermore, for the highest comfortable illuminance level, working efficiency did not change despite having lower stress. Therefore, we found that by setting the illuminance to the most comfortable level, work-related stress can be reduced while achieving the same efficiency as with other illuminance levels.

**Key words :** lighting, illuminance, stress, heart rate variability

キーワード : 照明, 照度, ストレス, 心拍変動

## 照明の照度が作業によるストレスに与える影響の検証

平井 友樹, 三木 光範, 伊藤 稔, 中村 誠司

### 1. はじめに

近年、オフィスでの労働におけるストレスや疲労に起因する作業効率の低下や疲労状態の慢性化が問題となっている<sup>1)</sup>。そのため、オフィス環境の改善に注目が集まっている<sup>2)</sup>。その中で、オフィスの照明環境に注目した研究では、照明の明るさ(照度)とストレスに関する研究は行われているが、心拍変動を用いたものは少ない<sup>3,4)</sup>。これらの研究では、ストレスや疲労を評価する指標として主観評価やフリッカーテストなどが用いられている。しかし、これらの方法は、作業

を中断し、質問用紙の解答や計測機器を用いた計測を行う必要がある。したがって、これらの方法では時々刻々と変化するストレスを計測することができない。そこで、心電図から取得した心拍変動を用いたストレスの計測に注目が集まっている<sup>5)</sup>。心電図は近年普及が進んでいるウェアラブル端末を使うことで容易に取得できる<sup>6-8)</sup>。また、作業中にも測定可能であり、連続的なデータを取得できる。心拍変動は自律神経機能、疲労、眠気などの評価に有効である<sup>9)</sup>。

照明による光環境に着目した研究では、人によって快適と感じる照度が異なることがわかっている<sup>10)</sup>。し

\* Faculty of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone:+81-774-65-6930, Fax:+81-774-65-6716, E-mail:mmiki@mail.doshisha.ac.jp

\*\* Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone:+81-80-3817-3602, Fax:+81-745-74-3156, E-mail:thirai@mikilab.doshisha.ac.jp

かし、快適と感じる照度にすることによってストレス軽減や作業効率の向上が可能であるかの検証は行われていない。以上のことから、本研究では、照明の照度の違いがストレスに与える影響を心電図から取得した心拍変動を用いて検証する。また、快適と感じる照度にすることでストレスの軽減が可能であるかの検証を行う。さらに、オフィスの執務においては作業効率も求められる。そのため、作業効率の測定を行い、取得したストレスと作業効率からストレスを軽減し、作業効率を上げることができる照度を明らかにする。

## 2. 心電図を用いたストレスの測定

心臓の鼓動の時間間隔である心拍間隔は、ストレス負荷によって変動することがわかっている<sup>11)</sup>。ストレス負荷が高まると交感神経が興奮し、副交感神経が抑制されるため、心拍間隔が短縮すると報告されている。また、心拍間隔は一定ではなく、姿勢やストレスなどの影響を受け、変動するため、心拍間隔の変動を観測することでストレスの計測が可能である。心拍間隔の変動である心拍変動は、身体的・精神的ストレスの指標になると知られており、心拍変動を読み取ることによってストレスの推定を行う研究が多くの分野で行われている<sup>12,13)</sup>。ストレスを受けることで心拍間隔は低い値を示し、変動が大きくなる。

心拍間隔の計測には心電図を用いる。Fig.1に心電図の概形を示す。心電図は心筋が収縮する際に発生するP, Q, R, S, Tの五つの波によって構成されている。このうち、R波は血液を左心室から大動脈に送り出す際に生じ、振幅が大きいため、計測が容易であるという特徴がある。このため、心拍間隔はこのR波とR波の間隔であるRRI (R-R Interval)を用いる。心拍変動を観測するための指標として、CVRR (Coefficient of variation of R-R interval) が広く用いられている<sup>14)</sup>。CVRRは式(1)で求めることができる。 $\sigma$ はRRIの標準偏差、 $\bar{x}$ はRRIの平均である。これは、心電図を記録して、連続した100心拍の標準偏差と平均を用いる。心拍変動が小さくなり、CVRRが小さくなるとストレス状態にあると推定できる。また、CVRRが大きくなるとリラックス状態にあると推定できる。本研究

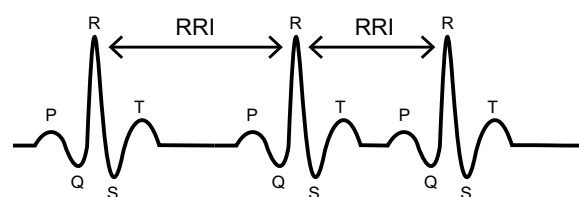


Fig. 1. Outline of electrocardiogram.

では、この CVRR をストレスの指標として用いた。

$$CVRR = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \quad (1)$$

## 3. 照度とストレスに関する実験

### 3.1 実験内容

作業時の照度の違いが作業時のストレスにどのような影響を与えるのかを検証する実験を行った。また、アンケートにより被験者の快適性を取得し、快適と感じる照度でストレスを軽減できるか検証を行った。

実験は20代前半の大学生10人(男性10人)に対して行った。実験環境の平面図をFig.2に示す。実験環境は7.2 m × 6.0 m × 2.6 mの窓のないオフィス環境を模擬した空間であり、机の高さはJISが推奨するオフィスの机の高さ<sup>15)</sup>である床上0.7 mとした。天井照明には調光可能な三菱製照明器具(EL-G6004MM)を用いた。作業時の照度は300 lx, 500 lx, 700 lxの三通りとした。JISによると、一般作業を行う事務室には照度300 lx~750 lx<sup>16)</sup>が必要と定められている。そのため、照度条件は低照度の300 lx, 高照度の700 lx, その中間の500 lxとした。また、色温度は一般的なオフィスで使用される照明の色温度4500 Kとした。なお、照度の計測にはコニカミノルタ株式会社製の色彩照度計(CL-200)を用いた。心電図の取得には東レ株式会社と日本電信電話株式会社が共同開発したウェアラブル心電計(hitoe)を用いる。ウェアラブル心電計(hitoe)をFig.3に示す。これは、専用のウェアを着用することで心電図を連続的に取得できる。

### 3.2 実験手順

以下に実験の手順を示す。

1. 照度を変更する。

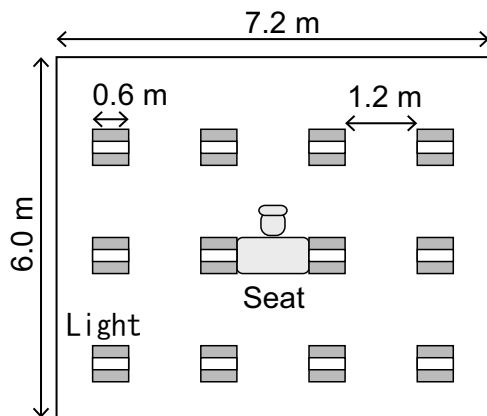


Fig. 2. Experimental environment.



Fig. 3. Wearable ECG sensor.

2. 安静状態で 10 分間待機させる。
3. 安静時の心電図を 10 分間計測する。
4. 作業時の心電図を 15 分間計測する。
5. アンケートを実施する。
6. 項目 (1) に戻る。

項目 (2) は直前の作業によるストレスの影響を小さくするための待機である。なお、本研究において、安静状態とは目を閉じずに座った状態のことである。そして、項目 (3) で安静時の心電図、項目 (4) で作業時の心電図を取得した。これは、安静時と作業時の心電図を比較し、作業によってどれくらいストレスがかかったかを計測するためである。なお、作業には内田クレペリン精神検査（以下、クレペリン検査）を用いた。クレペリン検査は性格検査・職業適性検査の一種であり、今回は計算によってストレス負荷を与える作業として用いた。クレペリン検査は、1 列に並んだ

Table 1. Experiment order.

|      | 順序 A   | 順序 B   |
|------|--------|--------|
| 1 回目 | 300 lx | 700 lx |
| 2 回目 | 500 lx | 300 lx |
| 3 回目 | 700 lx | 500 lx |

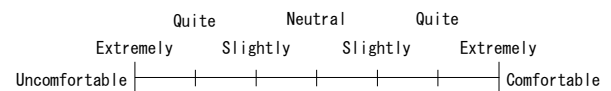


Fig. 4. Questionnaire.

1 桁の数字 (3~9) の足し算を繰り返し、1 分経つと次の列に移動し、同様に足し算を繰り返していくものである。作業後には、照明の快適性に関するアンケートを実施した。被験者アンケートを Fig.4 に示す。これは、作業時の照明環境がどれだけ快適であったかについて、7 段階で評価を行った。

実験の順序によるストレスへの影響を考慮し、実験の順序は 2 通りで行った。実験の順序を Table 1 に示す。順序 A に参加したのは 5 人、順序 B に参加したのは 5 人であった。

### 3.3 実験結果

Fig.5 に被験者 10 人分の作業時と安静時の CVRR の平均の結果を示す。CVRR は心拍の変動を表す指標であり、CVRR の値が小さいほどストレス状態であるということを表している。Fig.5 より、安静時の CVRR に比べて作業時の CVRR が低いということがわかった。Wilcoxon の順位和検定を行った結果、有意な差が見られた ( $p < 0.05$ )。したがって、作業によってストレスがかかり、CVRR が減少することがわかった。

Fig.6 に快適性の結果を示す。快適性は 7 段階の主観評価によって取得した。300 lx, 500 lx, 700 lx での作業時における照明環境の快適性を表しており、快適性の値が高いほど快適、低いほど不快であることを表している。被験者 A, B は 300 lx, 被験者 C, D は 500 lx, 被験者 E, F, G, H は 700 lx で快適性が最も高い。また、被験者 I は 300 lx と 500 lx, 被験者 J はすべての照度で快適性が最も高い。したがって、快

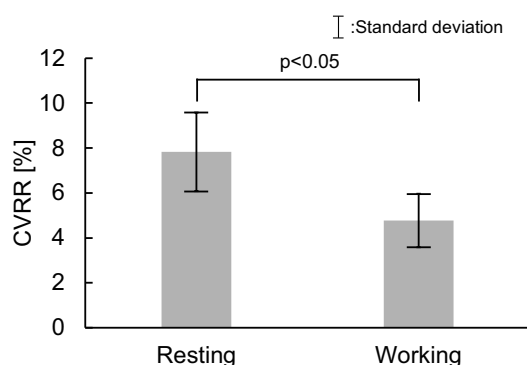


Fig. 5. Average CVRR resting and working.

適と感じる照度は人によって異なることがわかる。また、被験者 I, J のように複数の照度において快適性が最も高くなる被験者もいた。

Fig.7 に心電図から算出した作業によるストレスを示す。300 lx, 500 lx, 700 lx での作業によるストレスを表しており、値が高いほどストレスが大きく、低いほどストレスが小さいことを表している。本稿では、作業によるストレスを安静時から作業時の CVRR の減少率で算出した。作業時にはストレスがかかっており、安静時から CVRR が減少する。CVRR の減少率が大きいほど安静時からの CVRR の減少が大きく、作業によるストレスが大きい。また、CVRR の減少率が小さければ、作業によるストレスが小さい。Fig.7 より、被験者 A, C, J は 300 lx, 被験者 I は 500 lx, 被験者 B, D, E, F, G, H は 700 lx のときに作業によるストレスが最も小さいことがわかる。したがって、作業によるストレスが最も小さい照度は人によって異なるということがわかった。

Fig.8 にクレペリン検査の結果を示す。300 lx, 500 lx, 700 lx での被験者 10 人の回答数の平均を表しており、縦軸は回答数である。Fig.8 から、500 lx で大きい傾向があるが、Wilcoxon の順位和検定を行った結果、300 lx と 700 lx と有意な差は見られなかった。500 lx と 700 lx でも Wilcoxon の順位和検定を行った結果、有意な差は見られなかった。したがって、照度が作業効率に与える影響は小さいことがわかった。

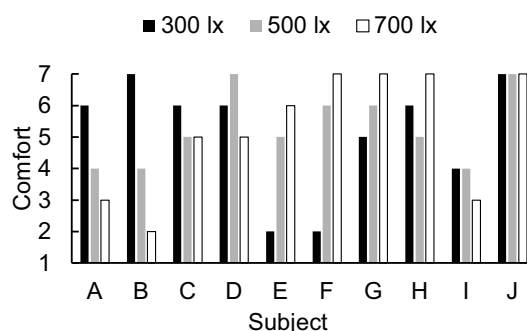


Fig. 6. Comfort questionnaire results.

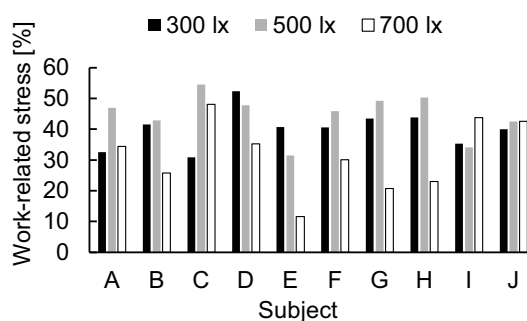


Fig. 7. Work-related stress results.

### 3.4 考察

快適性のアンケート結果と作業によるストレスから快適性が最も高い照度とその他の照度でのストレスに関して考察を行った。被験者 10 人の最も快適性が高い照度とその他の照度での作業によるストレスの平均を Fig.9 に示す。Fig.9 から最も快適性が高い照度はその他の照度に比べて作業によるストレスが小さいということがわかった。Wilcoxon の順位和検定を行った結果、有意な差が見られた ( $p < 0.01$ )。したがって、最も快適性が高い照度にする事で作業によるス

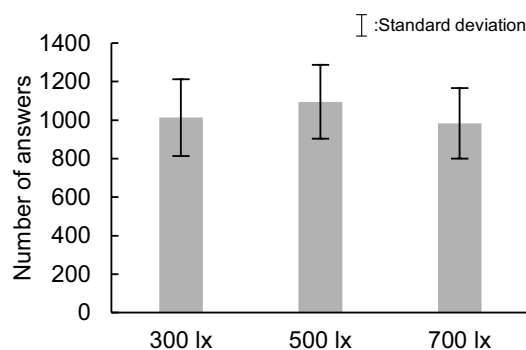


Fig. 8. Kraepelin test results.

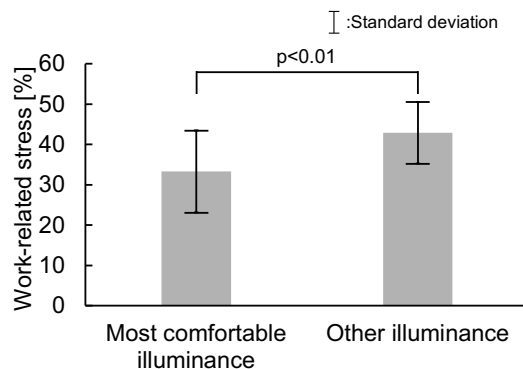


Fig. 9. Average of work-related stress.

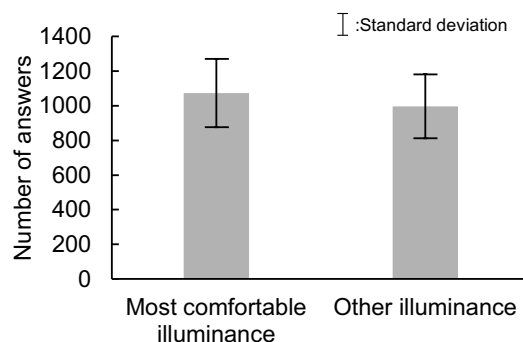


Fig. 10. Average number of answers.

ストレスが小さくなると考えられる。

快適性のアンケート結果とクレペリン検査の結果から快適性が最も高い照度とその他の照度での作業効率に関して考察を行った。被験者 10 人の最も快適性が高い照度とその他の照度でのクレペリン検査の回答数の平均を Fig.10 に示す。Wilcoxon の順位検定を行った結果、最も快適性が高い照度とその他の照度での回答数は有意な差が見られなかった。したがって、快適と感じる照度で作業をすることが作業効率に与える影響は小さいと考えられる。

Fig.9 より、執務者が最も快適と感じる照度にすることで作業によるストレスを小さくできることがわかった。また、Fig.10 より、快適と感じる照度とその他の照度では作業効率に差がないことがわかった。したがって、快適と感じる照度にすることで作業によるストレスを軽減し、その他の照度と同等の作業効率で作業することができると考えられる。

#### 4. 結論

本研究では、照明の照度の違いが、ストレスに与える影響を心電図から取得した心拍変動を用いて検証した。また、好みの照度にすることでストレス軽減や作業効率の向上が可能であるかの検証も行った。照度とストレスに関する実験では、ストレスが小さくなる照度は人によって異なるということが明らかになった。また、快適性のアンケート結果と比較したところ、最も快適性が高い照度にすることによってストレスの軽減が可能であるということが明らかになった。作業効率に関しては、クレペリン検査の結果は最も快適性が高い照度とその他の照度で差が見られなかったため、照明の照度による影響が小さいことが明らかになった。以上の結果から、執務者が最も快適と感じる照度にすることで作業によるストレスを小さくし、その他の照度と同等の作業効率で作業できると考えられる。

本研究では、快適性が高い照度においてストレスを軽減できると明らかになった。実験では、ストレスの計測に衣服型のウェアラブル端末を用いた。ウェアラブル端末は、オフィス環境において執務の妨げになることなく執務者の生体情報を取得することが可能である。本研究で行った実験によりウェアラブル端末を用いた場合でもストレスの測定は可能であることがわかり、オフィスで応用できる可能性が示すことができた。取得した生体情報を基に照明を制御するシステムの構築し、快適と感じる照度を提供することで作業によるストレスを軽減することが可能であると考えられる。また、取得した生体情報を用いて執務者の体調管理も可能であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) T.Cox, S.Leka, A.Griffiths, "Protecting Workers' Health Series No.3 Work Organization and Stress", World Health Organization(2005).
- 2) 橋本幸博, 鳥海吉弘, "被験者実験による模擬執務空間の最適な緑視率の検討:オフィス空間における植物量のストレス緩和への影響に関する研究 その3", 日本建築学会計画系論文集, **79**[700], 1309-1314(2014).
- 3) 西原直枝, 田辺新一, "中程度の高温環境下における知的生産性に関する被験者実験", 日本建築学会環境系論文集, **68**[568], 33-39(2003).

- 4) 西川雅弥, 西原直枝, 田辺新一, “タスク照明の個人制御が知的生産性に与える影響に関する研究”, 日本建築学会環境系論文集, **71**[603], 101–109(2006).
- 5) 高津浩彰, 宗像光男, 小関修, 横山清子, 渡辺與作, 高田和之, “心拍変動による精神的ストレスの評価についての検討”, 電気学会論文誌 C, **120**[1], 104–110(2000).
- 6) 総務省, “暮らしの未来と ICT”, 平成 27 年度版 情報通信白書, 第 2 部, 175–198(2015).
- 7) 武井康浩, “オフィス環境でのウェアラブル端末活用の試み”, みずほ情報総研レポート, **10**, 1–8(2015).
- 8) 矢野和男, データの見えざる手: ウェアラブルセンサが明かす人間・組織・社会の法則, (草思社, 東京都, 2014).
- 9) 産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門, 人間計測ハンドブック, (朝倉書店, 東京都, 2003).
- 10) 中村肇, 唐沢宜典, 桑田正, 柏木秀己, 前田功, 横山光雄, 鈴木峰雄, 宮田真理, “照度・色温度が空間雰囲気及ぼす影響”, 照明学会誌, **80**, 265–265(1996).
- 11) 林博史, 心拍変動の臨床応用-生理的意義, 病態評価, 予後予測, (医学書院, 東京都, 1999).
- 12) 村田厚生, “心拍変動性指標によるメンタルワークロードの測定”, 人間工学, **28**[2], 91–98(1992).
- 13) 石田眞二, 鹿島茂, “心拍変動を用いた車いす使用者のストレス計測に関する研究”, 福祉のまちづくり研究, **18**[2], 1–9(2016).
- 14) 麻生好正, “糖尿病性自律神経障害”, 月間糖尿病 2016-8, **8**[8], 54–55(2016).
- 15) JIS S 1010, 事務用機の寸法 (1978).
- 16) JIS Z 9110, 照明基準総則 (1979).