蓄積疲労の兆候を検出する簡便なシステムの開発

—労働現場での運用を通しての評価—

○山田 晋平（産業医科大学産業保健学部，大阪工業大学大学院工学研究科）

三宅 晋司（産業医科大学産業保健学部）

大須賀 美恵子（大阪工業大学工学部）

Development of an easy-to-use system to detect accumulated fatigue symptoms

- Evaluation of this system by a workplace study -

Shimpei YAMADA (School of Health Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Japan Graduate School of Engineering, Osaka Institute of Technology),

Shinji MIYAKE (School of Health Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Japan),

Mieko OHSUGA (Faculty of Engineering, Osaka Institute of Technology)

1. はじめに

長期間に亘る過重な労働により蓄積した疲労は、過労死の重要な要因である。その対策として、産業医による面接指導が「時間外労働が月 100 時間を超え、疲労の蓄積が認められ、申出を行った者」に対して行われている。一般的な疲労の定義やその要因としては、疲労感、負担の持続時間及び時間的パターン、作業能力、生理的機能に関する項目が挙げられているが、現行の選定基準では、このうち、本人の申し出が該当する疲労感と、時間外労働時間によって負担の持続時間及び時間的パターンの一部が考慮されているに過ぎない。また、疲労に関しては、様々な客観的評価法やマーカーも検討されているが、現時点では検証が十分とは言えない。これは、疲労の概念が複合的で単独の指標による評価が適さないことと、指標値には個人差が大きく、絶対値による評価が困難であることが原因として考えられる。一方、多数の指標を日常的に測定して、有意な変化を抽出するには時間と手間が掛かる。

そこで、我々は、簡便に蓄積疲労の兆候を検出できるシステムの開発を行い、大学の研究室に設置し、大学生を対象に検証を行った¹⁾。このシステムは、産業医の面接を受けるのが望ましい状態を検出することと、対応が必要な労働者を見落とさないことに重点を置いて開発した。

本研究では、このシステムを基に開発した小型かつ可搬性に優れたシステム（図1）を実際に企業に設置し、専門的知識を有していない労働者に、日常的に利用してもらい、システムを運用していく上での留意点の抽出を行った。

2. 方法

福岡県下の企業に、システムを設置した。システムの利用者は、機械設計に携わる成人男性6名である。事前に文書と口頭により実験内容を説明し、文書による承諾を得た。利用者には、出勤日において1日置き（月，水，金，火，木，月，…）にシステムを利用するように指示した。なお、システムの利用は、終業時ではなく出社時とした。これは、終業時では蓄積疲労ではなく、その日の疲労を評価することになるためである。また、出社時とすることで測定時刻を揃え、日間変動の影響を除くことを意図した。利用者には、本システムでの測定と並行して、システムの使用感などについての聴取と自由記述による回答を求めた。

システムは、タブレットパソコン（WindPad 110W, MSI Co. Ltd.）を中心に構成した。画面のサイズは10インチで、メモリーは2GBから4GBへの増設を行った。このタブレットパソコンの画面に操作手順と質問項目の呈示を行った。質問は、自覚症しらべ（産業疲労研究会）から抽出した10項目と、前日の就寝時刻、当日の起床時刻、前日の余暇時間であり、画面に表示される選択肢に触れることで回答させた。

作業能力は、タブレットパソコンの画面に25個の連続した数字をランダムに配置し、最小の数字から順番に触れていく作業を用いて評価した。最小の数字に触れた際に、その数字を消すと共に、すべての数字の配置をランダムに変更した。また、画面に表示する数字の個数は常に25個になるように、それまでの最大値に1を加えた数字を追加した。21個目の数字に触れた時点で作業を終了し、

図1 システム外観

探索時間の平均値を作業能力の指標とした。

生理的機能に関する項目としては、心電図、脈波、重心動揺を測定した。心電図から心拍変動性指標を、心電図と脈波から脈波伝搬時間を算出した。心電図は、両足の足底に接する箇所と左手で握らせるグリップに導電性テープ（DF7007CFR-25、日本ジッパーチュービング）を貼り、第3誘導にて導出した。自作の生体アンプを用いることで、人体と電極間に静電容量結合を形成し、靴下を履いた状態での心電図の導出を可能とした。脈波は、反射型の光電センサを有する携帯型脈波測定装置（Polypul II、ニホンサンテック株式会社）を用いて、右手の人差し指から検出した。これらの信号は、A/D変換機能を持つデータ収集装置（NI USB-6009、National Instruments Co.）を介して、サンプリングレート1000Hzでタブレットパソコンに記録した。重心動揺はWiiボード（任天堂株式会社）を用いて測定した。Wiiボードの計測信号はBluetoothにて発信されているため、USB接続のBluetooth送受信機をタブレットパソコンに取り付け、受信し記録した。これらの指標は、約1分間に亘って同時に測定した。また、タブレットパソコンのフロントカメラにて、表情の録画を640×480の解像度で10秒間行った。これらの測定を専門家の補助を必要とせず、利用者が単独で行えるように、画面に操作手順を明示すると共に、機器の設定や電極の装着などの手間を極力排除した。また、限られた空間でも設置できるようにシステムを小型化した。なお、このシステムのプログラムは、MATLAB（MathWorks Japan）を用いて作成した。

3. 結果

6名全員が一人で測定でき、測定に要する時間は10分程度となった。測定は、欠勤日を除き、ほぼ1日置きで利用されていた。ただし、システムの不具合（パソコンのフリーズや予期しないシャットダウン）により出社時ではなく、10時以降に測定された日があった。また、心電図への電源ノイズの混入と機器の電源操作の不手際によると考えられるデータの欠損が見られた。システムについて「立ち上げが煩わしい」、「タッチパネルが操作し難い」、「動作が重い」、「（システムの台数が限られているため）順番待ちが起こる」、「測定に要する時間が長い」などの意見が挙げられた。

4. 考察

利用者全員が専門家の補助がなくとも測定が行えたことから、タブレットパソコンの画面に呈示した操作手順や質問の回答画面のインターフェースは十分に実用的だったと考えられる。しかし、システムの立ち上げや操作に対する不満が多く挙げられた。各測定装置の電源の一元化やタブレットパソコンの機種の変更といった改善が必要と考えられる。また、エラーが発生した際の対応マニュアルの準備や、タブレットパソコンの遠隔操作によるシステムのメンテナンスを検討する必要がある。待ち時間に関しては、生理指標の測定以外を各自のパソコンやスマートフォンで行えるようにすることで改善できる。不満が多く挙げられた中でも、継続した測定が行えていたのは、企業側の安全衛生に対する意識の高さに因るところが大きい。定期的な測定を継続させるには、システムを利用しやすくすると共に、導入に際しての教育が重要になると考えられる。

5. 今後の予定

指摘された箇所の修正と改良を行い、再度、企業で運用を行い、個人内の相対値の変動によって蓄積疲労の兆候を検出する手法の検討を行う。

参考文献

- 1) 山田 晋平他：「過重労働対策のための蓄積疲労の簡便な検出手法」，生体医工学，Vol. 50，No. 6，pp. 552-563，2012。