

生体内分泌物質に基づく VDT 作業ストレスの評価および予測 Evaluation and Prediction of VDT Workload Stress by Human Secretory Substances

野村 収作† 山岸 主門‡ 趙 博‡
Shusaku Nomura Kazuto Yamagishi Bo Zhao

1. まえがき

従来、心理的な快・不快の生理評価の研究の大半は脳波や心拍などの中枢・自律神経系指標に基づいている。しかしながらそれら神経系指標は反応が素早く、また恒常性の影響を強烈に受ける為、例えばあるシステムの使用感評価など実際のインターフェースの使用時間全体に渡る評価指標としては不向きである。これに対し本稿では、近年ストレスマーカーとして注目されている唾液中の免疫物質、免疫グロブリン (Salivary Immunoglobulin A ; SIgA) [1]、を用いたストレス評価法を検討した。更にストレスに対する生理反応機序の基礎研究として、標記 SIgA のストレス反応動態を表現する数理モデルを提案する。

評価対象ストレスとして本研究では VDT (Visual Display Terminal) 作業ストレスを扱う。公的統計資料によれば VDT 作業は単調・単純・無制限であり、また作業ストレスの自覚症状が乏しく、従ってストレス予防・制御が難しいとされている [2]。これに対し、現状では VDT 作業ストレスに対する客観的評価基準は無く、また予防措置を示すガイドラインにおいても作業環境の改善や定時的な休憩の奨励といった定性的な記述に留まっている。

本稿では SIgA を用いた VDT 作業ストレスの評価実験を示し、また VDT 作業ストレス制御へ向けた応用研究への布石として VDT 作業ストレス反応モデルを提案する。

2. VDT 作業ストレス評価実験

2.1 SIgA による評価

本研究では生体内分泌物質の SIgA が VDT 作業ストレスの評価指標と成り得るか次の二種類の実験 A 及び B によって検証した。

実験 A は一過性の VDT 作業 (30 分間) を課した場合の唾液中の SIgA 濃度変化を定量した (被験者は平均年齢 21 歳の男子学生 8 名)。その結果、SIgA は作業後に有意に増加した ($p < .001$, t 検定)。これは従前の研究における他のストレスラーに対する結果と一致している [1]。また、作業終了後約 10 分後にはほぼ元のレベルに回復していた。この事は SIgA が VDT 作業ストレスに対する有用な生理指標であることを示している。

実験 B は VDT 作業 (15 分間)・休憩 (9 分間) を繰り返し課した場合の SIgA の動態を調査した (被験者は平均年齢 21 歳の男子学生 2 名)。その結果、図 1 (上段) に示されるように、SIgA は VDT 作業ストレスに対して時間遅れを伴い変動した。つまり、作業によって増加した SIgA は休憩中もしばらく増加を続け、その後一端減少する (図中の“▲”で示された点) が、また次の作業の開始によって増加し、結果的に実験 B 全体を通じて SIgA が積算的に増加してい

た ($p < .001$, 4 回の作業に対する分散分析および t 検定)。端的に述べれば、この結果は繰返し行われた VDT 作業に対する、いわば“疲労の蓄積”を評価出来る可能性を示唆している。

SIgA の一過性のストレス反応が時間の遅れを伴って変化すること (従ってストレス解放に伴う回復が遅延すること) は、数は少ないものの過去にも報告されている [1]。しかしながら本実験のように繰返しストレスが課せられる実験系において SIgA の動態を連続的に精査し、回復遅延の効果を示した研究は無い。その理由として、唾液の連続採取による唾液流量の低下がストレスに対する通常の生体反応を阻害し、評価対象の効果をマスクしてしまう、といった問題があげられる。これに対し筆者らは新たな唾液採取法を考案し、この問題を回避することに成功した [3]。

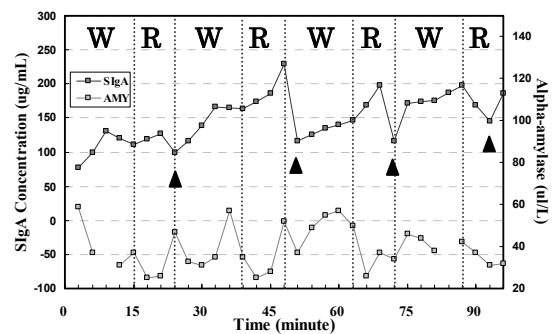


図 1 : 実験 B における SIgA (上) と α -amylase (下)。図の「W」、「R」はそれぞれ VDT 作業、休憩を表す。

2.2 その他の生理指標による評価

一方、同じ実験系に対する他の生理指標は疲労の蓄積ではなくむしろ課題に対する“反射的な”反応を示した。図 1 (下段) は唾液中の α -amylase の変化、また図 2 は瞬時心拍数 (HR) とその低周波成分 (LF) の変化を示している。 α -amylase は唾液中の消化酵素の一つであり、近年ストレスマーカーとして SIgA と共に注目を集めているが [4]、免疫系物質である SIgA より自律神経系の支配が強いと考えられており、本実験においても SIgA とは異なり休憩中に対する作業中の濃度が有意に高かった ($p < .001$, t 検定)。また、自律神経系指標である HR、および課題の困難さにより減少するとされている LF [5] はより反射的な反応を示した (例えば図中“○”で示された点)。また、HR、LF 共に作業-休憩間に対して有意な差が認められた ($p < .001$, t 検定)。

以上の実験結果より、VDT 作業ストレスの評価指標としては、反射的なストレス反応動態を示す自律神経系指標よりも現実の作業履歴に伴う蓄積的な対ストレス効果を示す SIgA が有望な生理指標であると考えられる。しかしながら、個人のストレス反応特性など潜在的にストレス反応を媒介する要因は数多く考えられることから更に多くの実験的研

† 島根大学 総合理工学部

‡ 島根大学 生物資源学部

究を行う必要がある。また、Cortisol [6] や hCgA [7] など SIgA 以外にも有望視されているストレスマーカーがあり、これらの検討も必要である。

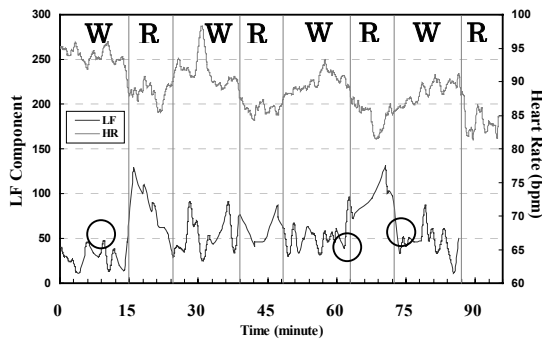


図2：実験 B における HR (上) と LF (下)。図の「W」、
「R」はそれぞれ VDT 作業、休憩を表す。

3. VDT 作業ストレス反応モデル

実験で示されたように SIgA は VDT 作業ストレスの評価指標として有望であると考えられるが、一般に生体内分泌物質の定量分析には非常に時間がかかり、自律神経系指標 (生体電気信号) のようにリアルタイムに測定する事は現在の技術では不可能である。従って VDT 作業ストレスを予防・制御する為には作業プロファイルよりストレスレベルを予測する為の数理モデルの作成が不可避である。またその様なモデルを作成することはストレス反応機序の解明にも不可欠である。本研究では次の (a) ~ (d) の基礎的な仮定に基づきモデルを作成した。

- (a) SIgA 濃度はベースライン及び上限がある
- (b) SIgA 濃度は短期ストレスにより急激に増加する
- (c) ストレス解放後は時間遅れを伴い急激に減少し、ベースラインへ回復する
- (d) 回復の遅延時間は作業履歴に依存する

上記、(a) はあらゆる生体システムが持つ恒常性を仮定しており、(b) ~ (d) は過去の研究および本研究の実験結果に基づいている。

本研究では上記の仮定を表現する最も単純なモデルとして、ストレス反応過程に対してはロジスティック関数 (式 (1)) を、回復過程に対しては指数減少関数 (式 (2)) を採用し、本研究の実験 B の作業・休憩スケジュールに従いシミュレーションを行った。

$$x = (a/b)x_1 / \{ \exp(-at) + x_1 \} \quad (1)$$

$$x = x_1 \exp(-ct) \quad (2)$$

図3にシミュレーション結果を示す。図のようにこのモデルは実際の実験において観察された SIgA の動態をよく表現している、また作業中一休憩中の SIgA 積算値に関してもよく対応している。従ってこのモデルはストレス反応の動態を示す数理モデルの骨格として採用できると考えられる。本研究では簡単な為、式 (1) 及び (2) の全てのパラメータは定数とした。しかしながら、図2より、実際にはストレス反応 (増加・減少) 特性が変更している事も

伺える。いずれにせよ、追実験およびシミュレーションによる両面のアプローチが必要である。

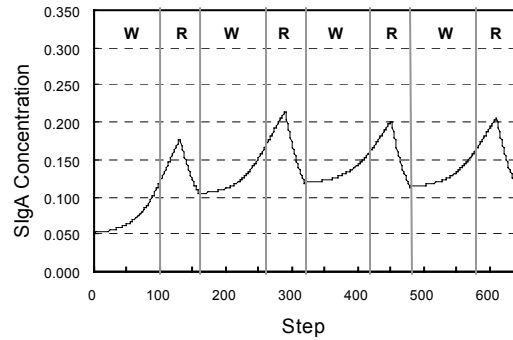


図3：実験 B シミュレーション結果。図の「W」、
「R」はそれぞれ VDT 作業、休憩に相当する時間帯を表す。

4. 今後の課題および展望

本稿では VDT 作業ストレスの定量的評価法に関し、自律神経系指標とは異なる新たな生理指標として、唾液中の SIgA の有効性を検証した。また、VDT 作業ストレス予測ソフトウェアなどの将来の応用研究への足がかりとして数理モデルを提案した。しかしながら、文中で触れたように本研究分野は未だ黎明期にあり本格的な議論は今後の詳細な研究を待たねばならない。

一方、Lab-on-a-Tip 技術等、近年分子分析技術の発達は急激に進歩しており、生体内分泌物質のリアルタイム測定の可能性も出てきている。従って今後、体系的な評価実験および数理モデルに基づくストレス反応機序の基礎研究により、工学的応用への可能性が飛躍的に拡大すると思われる。本研究ではその第一歩として試験的な研究を行った。

参考文献

- [1] R. Ader, D. L. Felten and N. Cohen, *Psychoneuroimmunology (3rd ed.)*. San Diego, CA: Academic Press Inc, 2001. s
- [2] 「平成 15 年技術革新と労働に関する実態調査結果の概況」,厚生労働省,2003
- [3] S. Nomura, H. Tanaka and T. Moriyama, "A Pilot Study of SIgA as a Stress Marker with Repetitive Saliva Collection," in *Proc. ICCS2006.*, to be published.
- [4] M. Yamaguchi, T. Kanemori, M. Knemaru, N. Takai, M. Yasufumi and H. Yoshida, "Performance evaluation of salivary amylase activity monitor," *Biosens. Bioelectron.*, vol. 20, pp.491-497, 2004.
- [5] 宮田洋 監修, 新生理心理学, 1巻, 北大路書房, 1998
- [6] C. Kirschbaum, and D. H. Hellhammer, "Salivary cortisol in psychoneuroendocrine research: recent developments and applications." *Psychoneuroendocrinology*, vol. 19, pp.313-333, 1994.
- [7] H. Nakane, O. Asami, Y. Yamada and H. Ohira, "Effect of negative air ions on computer operation, anxiety and salivary chromogranin A-like immunoreactivity," *Int. J. Psychophysiol.*, vol. 46, pp.85-89, 2002.