長時間暗算時の心血管系反応

○三宅晋司、井上和宏、鎌田豊彦、神代雅晴（産業医大・人間工学）

Cardiovascular reponse in long term mental arithmetic

S. Miyake, K. Inoue, T. Kamata, M. Kumashiro (UOEH, Dept. of Ergonomics)

【はじめに】精神作業負荷 (mental workload) の指標として心電図R-R間隔変動の0.1Hz成分が有効であるという報告がいくつかみられる。しかし、これらの報告では、この成分の作業中の増減に関しては必ずしも一定の結果が得られておらず、さらに、作業に伴う精神的緊張を捉えているのか、作業負荷を捉えているのかが明確ではない。たしかに、精神的緊張も作業の影響の一つではあるが、心拍変動性 (HRV) を指標として用いようとする場合、心拍数の変化が HRV にどのように影響するかが明確でなければ、心拍数の増加 (精神的緊張) を伴う作業での HRV の指標としての有効性は不明であると思われる。

本研究では以上の状況を踏まえ、精神的緊張を極力避けて (TIME PRESSURE を与えない) 暗算を長時間行わせ、精神的疲労状態の際の心血管系反応について検討した。

【方法】被験者 (男子学生10名・平均年齢21.6歳) は温度一定 (22℃) の防音シールド室内のベッドで仰臥位になり、開眼で暗算を行った。計算はスピーカより音声呈示された2桁の数を6で割った余りを求めるもので、答えにしたがって、右手先に置いた小形キーパッド (EPSON PS286LTP) 上の3つのキーを押すものである。計算は完全に self paceとし、キーが押されると自動的に次の課題が出題される。課題の数値はあらかじめ乱数を用いて作成したものを音声合成ボード (スカー AUDIO-98XX) 上のROM に格納しておき、コンピュータ (EPSON PC-286LE) により制御して発声させた。被験者には「でき

るだけ正確に計算を行う」ように教示し、早く行う必要のない旨を徹底した。始めに50問の練習を行い、その後、電極類を装着して、30分間の安静時の記録を行った。次に、疲労自覚症状調査をインタビューにて調査し、さらに5分間の安静の後、2000問 (約2時間) の計算を連続して行わせた (ただし、極端に計算の遅い者3名については約2時間経過した時点 (約1500問) で作業を終えた)。作業終了後、5分間の安静記録を行い、再び、疲労自覚調査及び若干の疲労に関する質問を行った。さらに、30分間の安静時の記録を行った。

測定は、左右両耳朶を基準電極とした単極導出脳波 (C₃、C₄、F_z)、心電図 (CM₅)、非観血連続血圧 (左手橈骨動脈部: 日本コリン CBM-2000)、脈波 (左手第3指)、呼吸 (胸郭) とし、ポリグラフシステム (日本光電 RM-6000) にて紙記録を行うとともに、磁気テープに記録した (TEAC XR-50)。

これらの記録のうち心電図と連続血圧について、安静時 (REST)、作業前安静 (PRE)、作業開始直後 (000)、開始後30分 (030)、開始後100~120分 (100)、作業終了直後 (POST) の各時点から体動等のアーチファクトのない5分間のデータを選んで解析した。なお、安静時については、脳波から覚醒を確認した区間を用いた。これらの5分間の心電図と連続血圧を10 msec にてA/D変換し (カープス ADX-98E)、心電図R-R間隔変動 (RRI)、収縮期血圧変動 (SBP) 血圧パルス間隔変動 (P-P間隔) を計測した。

さらにこれらのデータから傾向変動等のない区間 150拍（連続 150拍が得られない場合は100～145 拍）を選び出し、自己回帰スペクトルおよび要素波スペクトルを求めた（NEC PC-98XL²）。なお、自己回帰モデルの次数は予測誤差 FPEを最小にする次数とした。RRIとSBPの要素波スペクトルより 0.1Hz付近に中心周波数をもつ低周波数成分（LF成分）と0.25Hz付近に中心周波数をもつ高周波数成分（HF成分）を抽出し、次式により、LF成分とHF成分の比を求めた（SBP-AI、RRI-AI）。

$$AI \text{ (Autonomic Index)} = \frac{HF-LF}{HF+LF} \times 100$$

また、パフォーマンスとして 100問毎の平均計算所要時間と正答率および5分毎の回答数を算出した。

【結果と考察】10名の被験者のうち、暗算が得意（珠算3級および2段）で、作業後に主観的疲労を訴えなかった者2名とアーチファクトが多くて解析に不向きなもの1名を除いた7名について解析した。この7名の者は全員が作業後に「かなり疲れた」と報告しており、また、5分毎の回答数も90分目以降で減少している（図1）ことから100～120分目位の時点で疲労状態にあることがうかがわれた。

図2にPRE、000、030、100、POSTの各区間での平均心拍数（HR）、SBP-AI、RRI-AIのRESTを基準とした値（HRについては変化率、AIについては差値）を示した。HRは作業中にわずかな上昇が見られたが、有意差は認められなかった。一方、作業後にRESTと比較して、有意な減少が認められた。RRI-AIは“100”の区間で RESTと比較して、有意な減少を示した。AIの低値はLF成分がHF成分に比較して優勢であることを表しており、精神的疲労状態においてLF成分が相対的に増加したことを示している。SBP-AIは変化が少なく、条件間で有意差は認められなかった。これは SBPでは、HF成分、すなわち、呼吸に起因する変動成分の関与が少ないためと思われた。

【まとめ】 心電図R-R間隔変動のLF成分とHF成分の比を用いた指標（AI:Autonomic Index）は、パフォーマンスから判定した精神疲労時に安静時と比較して有意な低値を示し、精神作業負荷の指標としての有効性が示唆された。

図1 作業パフォーマンス
（5分毎の回答数を作業開始直後の値を基準値とした変化率で表したもの：平均値±S.E.）

図2 HR、RRI-AI、SBP-AIの変動
（平均値±S.E.、* p<0.05）