

計算・迷路課題が自律系生理指標に与える影響の検討

長野 祐一郎*

本研究は、フィジカル・コンピューティングを生理心理学に応用し、生理指標(心電図および指尖脈波)を測定する手順を示すこと、それらの測定系を実際に用い、得られたデータを検証すること、以上二つを目的とした。前者に関しては、マイクロコンピュータと、一般公開されている測定回路を組み合わせ、安価な部品のみで、心電図および指尖脈波の測定装置を作成可能である事が示された。後者に関しては、心臓血管系に与える影響の異なる二種類の課題、すなわち計算課題と迷路課題を用い、心拍数、脈波振幅に生じる変化を検証した。その結果、計算課題において心拍数が上昇しやすい点は、先行研究を支持する結果であったが、脈波振幅に関しては、課題による明確な差を生じなかった。さらに、これら二種類の課題は、指尖部の血管収縮に差を生じない可能性、さらに末梢の血管収縮にのみ予期不安の影響が生じる可能性が示唆された。これらの一連の実験結果より、フィジカル・コンピューティングを応用した測定機器が、実験に十分使用可能である事が示された。

Key Words : フィジカル・コンピューティング, 自律神経系, 心拍数, 脈波

序論

本研究には、ふたつの大きな目的がある。一つ目は、フィジカルコンピューティングを生理心理学に応用し、生理指標(心電図および指尖部脈波)を測定する手順を示す事、二つ目は、それらの測定系を実際に用い、得られたデータを検証することである。

1. フィジカル・コンピューティングの生理心理学への応用

フィジカル・コンピューティングとは、既存の入出力装置(マウスやディスプレイ、キーボー

* 人間学部心理学科

ドなど）にとらわれず、センサ・モーターなどを使ってコンピュータと人間を様々な形で結びつけていこうという考え方、あるいはそれを介した教育・研究のスタイルのことである。核となるのは、マイクロコンピュータ(以下マイコンとする)とその開発環境であるが、これらは多くの人が気楽に利用できるように、低コストに押さえられている。

これらは本来、工学の専門的知識を持たないアート系等の人々が、工学とアートを融合させた様々なガジェットを作成できるように用意されたものであるが、人間を様々なセンサーで測定するプロセス、測定したデータを現実世界にフィードバックするプロセスは、実験心理学の研究に共通するところが多い。また、工学の知識に疎い、心理学系の研究者・学生にとっても、このような開発環境は大きな助けになる。

フィジカル・コンピューティングでは、人間の反応をマイコンに送るために、可変抵抗やフォトトランジスタ、圧力センサーなど、様々なものが用いられるが、基本的にどれも安価なものである。これらは、人とマイコンの間の掛け橋となるものであり、もちろん生理指標を測るための生体アンプであっても良いわけであるが、現状市販されている生体アンプは数十万円の価格帯であり、フィジカルコンピューティングの、安価に学ぶという思想に合致しない。幸いな事に、市販の安価なICや光センサーを用いて作成された、心電図や脈波の測定回路がWeb上で公開されている¹⁾。これらの回路と、フィジカルコンピューティングで標準的な開発環境であるArduinoマイコン²⁾を用いる事により、生体情報を安価に測定することが可能になる。

2. 課題による生理指標の違いの検討

本研究では、Arduinoおよび上記測定回路を用い、心臓活動の指標として心拍数を、血管活動の指標として指尖脈波振幅を、それぞれ測定した。生体に精神的な負荷がかかると血圧が上昇するが、そのような反応には、心臓の活動を主体として血圧上昇が生じるパタン1と、血管の収縮が主体になって血圧上昇が生じるパタン2があることが知られている(Williams,1986)。計算課題や反応時間課題など、能動的対処を求められる課題は、パタン1を生じやすく(Allen & Crowell,1989; Brod, Fencl, Hejl, & Jirka,1959; 田中・澤田・藤井,1994)、明確な対処行動がない恐怖映像視聴課題や寒冷昇圧課題などでは、パタン2が生じやすい(Sherwood, Allen, Obrist, & Langer,1986)。しかし一方で、鏡映描写などの視覚的注意を生じやすい課題においても、明確なパタン2が生じる事が多くの事例で確かめられている(Kasprowicz, Manuck, Malkoff, & Krantz, 1990; 長野, 2004; Waldstein, Bachen, & Manuck,1997)。本研究では、パタン1を誘発しやすい課題として計算課題を、パタン2を誘発しやすい課題として迷路課題を行い、両課題が心拍数と脈波振幅に与える影響の検討を行うこととした。

[研究1]

〈目的〉

Arduinoマイコンおよび市販電子部品を用い、心拍数、脈波振幅の測定装置を作成する。

〈方法〉

心電図の測定：

心電図の測定は、Linear Technology 製計装アンプLT1167、同じくLinear Technology 製低消費電力オペアンプLT1112を用いた(図1)。生体信号は、LT1167で差動増幅された後、基線変動除去のため0.3Hzのハイパスフィルターを経て、さらにLT1112でおよそ100倍に拡大された。その際、ノイズ除去のために1000Hzのローパスフィルタを用いた。拡大され、フィルタ処理をうけた心電図信号は、感電防止のため、シャープ株式会社製フォトカプラPC817によって絶縁されたのち、Arduinoマイコンへ送られた。なお、これらの測定回路は、絶縁部分を除き、LT1167のマニュアルに記載されたものをそのまま用いた。

脈波の測定：

脈波の測定は、ローム株式会社製反射型フォトセンサRPR-220および、Fairchild Semiconductor 製汎用オペアンプLM358を用いて行った(図2)。フォトセンサにより得られた指尖部の脈波信号は、1.59Hzのハイパスフィルターを経てAC成分のみを取り出し、オペアンプで1000倍に拡大された後、波形確認用LEDとArduinoマイコンへ送られた。これらの脈波測定回路は、KORESS³⁾の岩淵志学氏から提供された。

両測定回路ともに、単三形ニッケル水素充電電池1本と、Sparkfun社製PRT-08248を用い5Vの電源電圧を供給した。これらの部品は、電子部品通販各社⁴⁾、フィジカルコンピューティング機器関連販売各社⁵⁾より調達した。

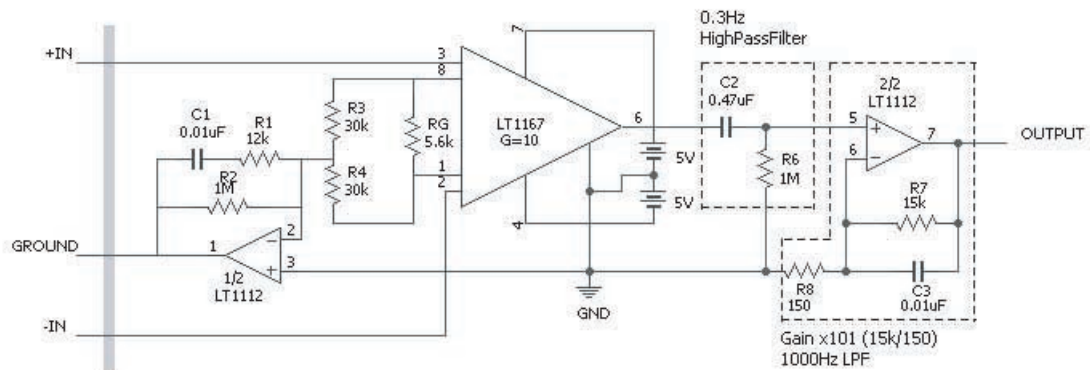


図1 心電図の測定に用いた回路

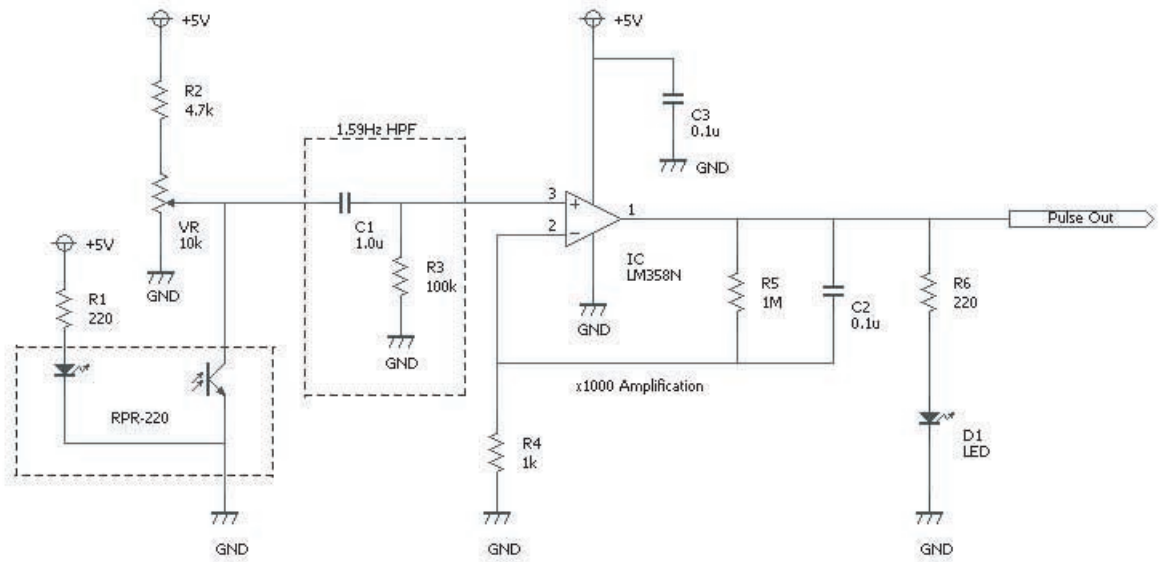


図2 脈波の測定に用いた回路

各回路は、ブレッドボード上に作成して用いた(図3, 4).

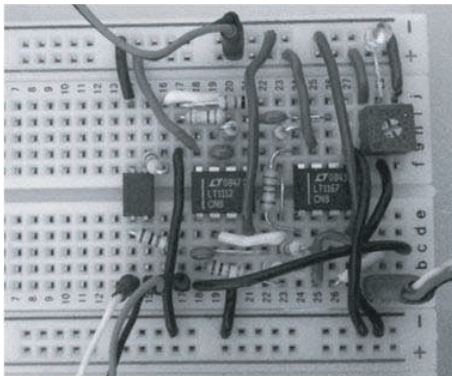


図3 作成した心電図計測装置

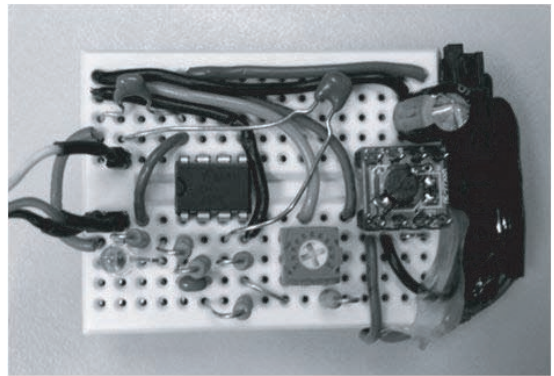


図4 作成した脈波計測装置

〈結果〉

上記構成により作成した結果、心電図測定装置は2000円程度、脈波測定装置は1500円程度のコストであった。測定された波形を図5、図6に示した。両測定系ともに、市販の心電図アンプ、脈波測定装置と同等の波形が得られた。

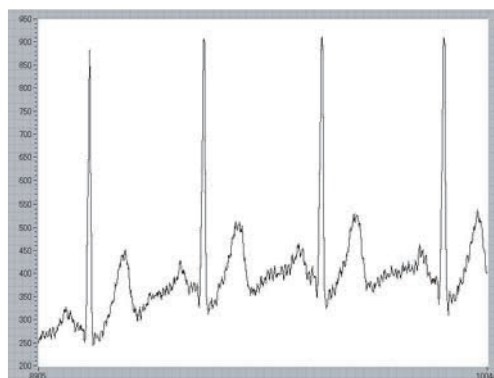


図5 作成した心電図測装置での測定波形

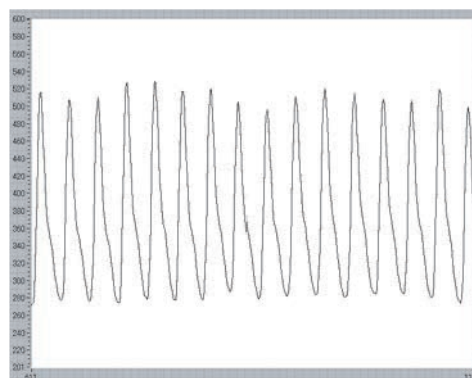


図6 作成した脈波計測装置での測定波形

[研究2]

〈目的〉

性質の異なる二種類の課題を用い、心拍数、脈波振幅に与える影響の違いを検討する。

〈方法〉

実験参加者：

文京学院大学で心理学基礎実験を受講中の、男女大学生55名(平均年齢19.5歳, SD1.0)を用いた。そのうち27名が計算課題を、28名が迷路課題を行った。

測定時期：

2011年4月～7月であった。

実験課題：

計算課題および迷路課題を用いた。計算課題は、ランダムに生成された2ケタの数字ふたつを足しあわせ、答えを求め、記入するという形式であった。計算問題はA4の用紙に、1列あたり40問を4列、計160問印刷されていた。迷路課題は、A4用紙に印刷された18cm×25cmサイズのものを用いた。迷路の道幅は約4mmであった。

装置および指標：

研究1で作成した回路を用い、第II誘導により心電図を、非利き手中指より脈波を、それぞれ測定した。これらの波形は、Arduinoのアナログポートを用い、10bitの精度、1kHzのサンプリング周波数でA/D変換された。心電図は16ポイントの平滑化微分アルゴリズムにより微分され、1次微分波形が任意のしきい値(参加者により個別に設定)を超えた点をR波出現位置とした。Arduinoのmillis関数により、R波出現時刻をms単位で求め、拍動間隔(Inter Beat Interval:IBI)を算出し、さらにIBIから一分あたりの心拍数(Heart Rate:HR)を算出した。2点のR波出現点の間を心周期とみなし、その期間内の脈波の最大値と最小値を求め、さらに最大値から最小値を引いた値を脈波振幅(Pulse Volume Amplitude:PVA)として算出した。これらの値はシリアル通信を用いて汎用コンピュータに転送された。

手続き：

実験参加者は、計測中はなるべく体を動かさないよう教示を受けた後、安静、課題、ふたたび安静（それぞれ1分ずつ）というスケジュールで実験を行った。なお、安静期間は開眼状態を保つよう教示した。本研究は実習形式の授業中に行われたため、同一テーブル上で6人同時に計測を行った。

〈結果〉

心拍数、脈波振幅ともに、各測定器から送られてきた心拍数の絶対値を分析に用いた。なお、心拍数は測定上の不備により、52名を用いた分析となった。

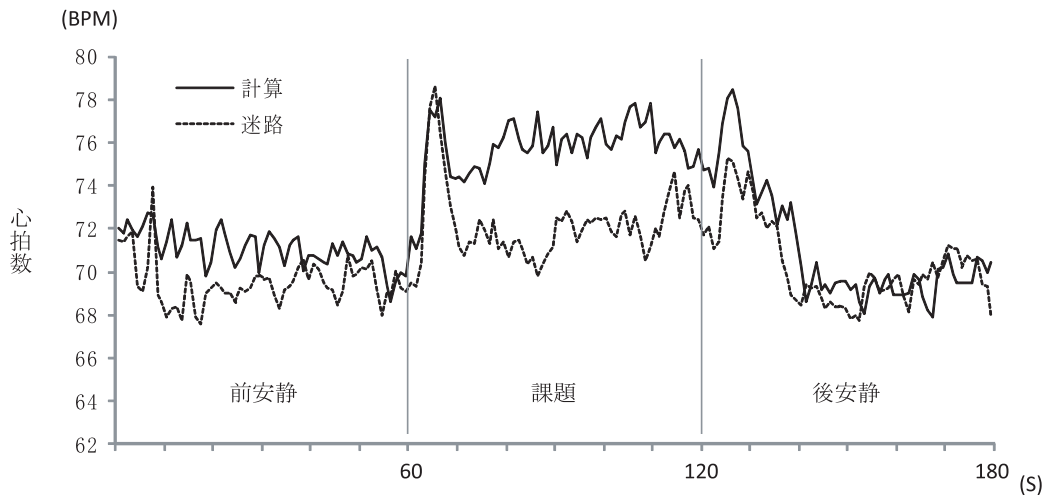


図7 計算・迷路課題中の心拍数の変化

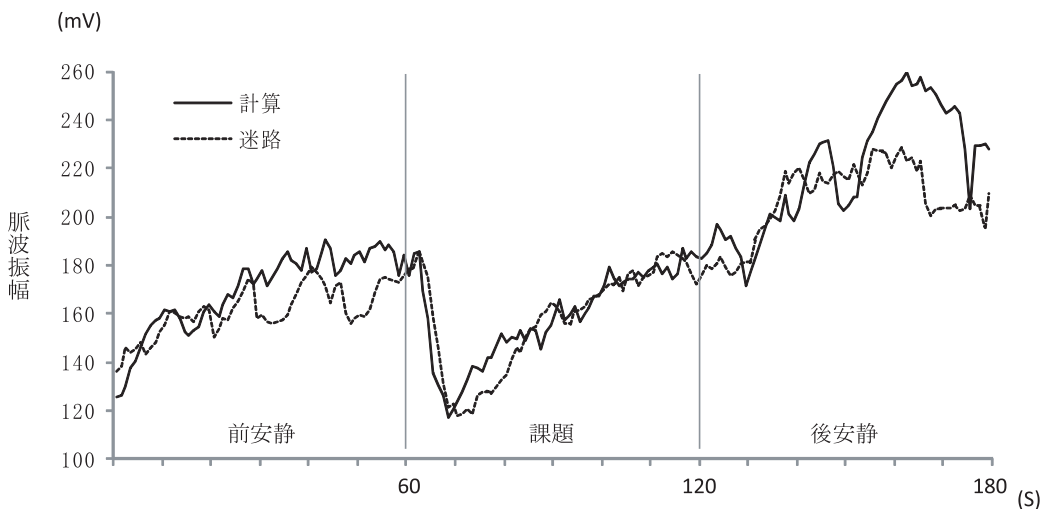


図8 計算・迷路課題中の脈波振幅の変化

心拍数は課題開始と同時に急激に上昇し、開始後6～7秒付近でピークを作り、課題中は上昇した状態を維持した。後安静では、一旦上昇した後、20秒程度かけて前安静と同じ水準まで低下した。心拍の上昇度合いは、迷路より計算で高かった(図7)。

心拍数に関して、各期間60秒の平均値を求め、群(計算,迷路)×期間(前安静,課題,後安静)の2要因混合計画の分散分析を行ったところ、期間の主効果($F(2,100)=34.41, p<.001$)と群×期間の交互作用($F(2,100)=4.27, p<.05$)が有意だった。期間について多重比較を行ったところ、他期間に比べ課題期のHRが有意に高かった($p<.001$)。

脈波振幅は、前安静機関内で徐々に上昇した。課題開始とともに急激に減少を見せたが、課題期間内でも徐々に上昇し、課題終了時には前安静の後半と同じ水準に戻っていた。さらに後安静でも上昇し、前安静より高い値となった。両群で変化のしかたに明確な差はみとめられなかった(図8)。

心拍数と同様に平均値を求め、分散分析を行ったところ、期間の効果のみが有意であった($F(2,106)=30.00, p<.001$)。多重比較を行ったところ、前安静と後安静の間、課題と後安静の間に有意な差があった(いずれも $p<.001$)。前安静と課題の間には有意な差はなかった。

〈総合考察と結論〉

心拍数の上昇度合いは計算課題において顕著であり、迷路課題では上昇したものの、その変化は少なかった。これは、計算課題がパタン1を誘発しやすく、鏡映描写などの視覚的注意を高める課題はパタン2を誘発しやすいという、先行研究の結果を支持するものである。長野(2004)では、鏡映描写課題は安静期と比較しても心拍数が変化しない、との結果が報告されているが本研究の迷路課題ではやや上昇した。これに関しては、本研究では6人同時に課題を行ったため、同じく長野(2004)で指摘されるような競争の効果が暗黙裡に生じ、それが原因で心拍数が速くなった可能性が考えられた。課題開始直後6～7秒目で生じるピークは、Obirst(1981)に示される、回避条件付け課題時の心拍数の変化に酷似している。すなわち、課題直後の上昇は迷走神経活動に由来する変化であり、それ以降の上昇は交感神経活動に由来するものと理解できる。

脈波振幅に関しては、課題開始直後に顕著な低下が見られた。これは主として、 α アドレナリン作動性の血管収縮を反映したものと考えられるが、このような脈波振幅の低下は課題前半しか維持されず、後半では安静時と同じ水準まで回復している。課題時の心拍数の変化が2～5bpmである事も考慮すると、本実験の課題負荷は多くの先行研究と比べ軽微なものであったと言えるだろう。迷路課題では、血管収縮を主体とするパタン2が生じやすいことが考えられ、したがって迷路課題ではより脈波振幅が低下すると考えられたが、そのような群差は認められなかった。通常、血行力学的パタン分析で用いられるのは、心拍量と血圧から求めた計算上の全末梢抵抗(全身の血管抵抗の総和)であるが、脈波振幅は皮膚表面の血管抵抗変化を主に反映している。このような差異が、脈波振幅において群差が見られない理由として考えられる。

安静状態に目をむけると、前安静、後安静ともに各期間内で脈波振幅が上昇し続けている。

このことから、脈波振幅に関しては、1分程度という期間では値が安定せず、ベースラインを測定するには短すぎると考えられる。心拍数に関しては前安静、後安静がほぼ同じ値であったが、脈波振幅は前安静より後安静が有意に大きかった。これは、課題後に実験参加者がよりリラックスしている可能性を示すものであり、逆に言えば前安静では予期的な不安により血管収縮が生じている可能性が考えられる。

これらの結果から、フィジカルコンピューティングの手法を用い、安価に作成した計測機器でも市販の計測機器と同様に測定が行える事が示された。今後は、大人数での同時計測等、低コストを生かした研究への応用が期待される。

注

- 1) DIY ECG Machine On The Cheap
<http://www.swharden.com/blog/2009-08-14-diy-ecg-machine-on-the-cheap/>
Arduino 対応の心拍センサ(脈拍センサ)シールド [A.P. Shield]
http://koress.jp/2010/05/arduinoap_shield.html
- 2) Arduino - HomePage <http://www.arduino.cc/>
- 3) KORESS <http://koress.jp/>
- 4) 秋月電通商 <http://akizukidenshi.com/catalog/default.aspx>
千石電商オンラインショップ <http://www.sengoku.co.jp/>
- 5) スイッチサイエンス <http://www.switch-science.com/>
ストロベリー・リナックス <http://strawberry-linux.com/>

引用文献

- Allen, M. T., & Crowell, M. D. (1989). Patterns of autonomic response during laboratory stressors. *Psychophysiology*, 26, 603-614.
- Brod, J., Fencil, V., Hejl, Z., & Jirka, J. (1959). Circulatory changes underlying blood pressure elevation during acute emotional stress (mental arithmetic) in normotensive and hypertensive subjects. *Clinical Science*, 18, 269-279.
- Kasprovicz, A. L., Manuck, S. B., Malkoff, S. B., & Krantz, D. S. (1990). Individual differences in behaviorally evoked cardiovascular response: temporal stability and hemodynamic patterning. *Psychophysiology*, 27, 605-619.
- 長野祐一郎 (2004). 競争型鏡映描写課題における心臓血管反応, *生理心理学と精神生理学*, 22, 237-246.
- (Nagano, Y. 2004 Cardiovascular Responses During a Competitive Mirror Drawing Task. *Japanese Journal of Physiological Psychology and Psychophysiology*, 22)
- Obrist, P. A. (1981). *Cardiovascular psychophysiology: A Perspective*. New York: Plenum Press.
- Sherwood, A., Allen, M. T., Obrist, P. A., & Langer, A. W. (1986). Evaluation of beta-adrenergic influences on cardiovascular and metabolic adjustments to physical and psychological stress. *Psychophysiology*, 23, 89-104.
- 田中豪一・澤田幸展・藤井力夫 (1994). ストレス作業時の迷走神経抑制 *心理学研究*, 65, 9-17.

(Tanaka G., Sawada Y., & Fujii, R. (1994) Cardiac vagal withdrawal during stressful tasks estimated by the baroreflex sensitivity and respiratory sinus arrhythmia. *Japanese Journal of Psychology*, 65, 9-17.)

Waldstein, S. R., Bachen, E. A., & Manuck, S. B. (1997). Active coping and cardiovascular reactivity: a multiplicity of influences. *Psychosomatic Medicine*, 59, 620-625.

Williams, R. B. 1986 Patterns of reactivity and stress. In K. A. Matthews, S. M. Weiss, T. Detre, T. M. Demobroski, B.Falkner, S. B., Manuck & R. B. Williams (Eds.), *Handbook of stress, reactivity, and cardiovascular disease*. New York : John Wiley & Sons. Pp.109-125.

(2011.10.3 受稿, 2011.10.28 受理)