長時間作業時の血行動態反応の個人差

劉 欣欣^{*1}, 池田大樹^{*1}, 小山冬樹^{*1,*2},
脇坂佳子^{*1}, 高橋正也^{*1}

長時間労働は様々な心身不調と関連し、特に脳・心臓疾患の発症リスクを増大させることが知られている。国内では、過重労働（特に長時間労働）によって脳・心臓疾患を発症したとする労災認定件数、いわゆる過労死等の認定件数は年間250件から300件程度で推移し、明らかな減少傾向は認められていない¹⁾。長時間労働による心血管系負担の軽減策を検討・提案することは、労働者の健康維持、さらには過労死の予防に極めて重要である。本研究では、長時間労働を模した実験室での被験者実験により、血圧を維持するための心臓と血管系の反応（背景血行動態反応）について検討した。本稿では、その実験結果の一部である血行動態反応の個人差について紹介し、心血管系負担の軽減策を検討するための資料提供を目的とした。

キーワード: 長時間労働, 心血管系反応, 個人差, 血圧, 心拍出量, 総末梢血管抵抗

1 はじめに

国内外で行われた疫学調査研究では、週55時間以上の長時間労働は脳卒中、冠動脈心疾患などの脳・心臓疾患のリスクを増大し、週60時間を超えるとそのリスクがさらに増加することが報告されている²⁻⁵⁾。国内で公開されている脳・心臓疾患の労災認定基準⁶⁾では、業務の過重性を評価する具体的な負荷要因として、労働時間、交代制勤務・深夜勤務、精神的緊張を伴う業務など7つの項目が示されており、特に労働時間が最も重要とされている。同省の「脳・心臓疾患と精神障害の労災補償状況」まとめ¹⁾によると、業務における過重な負荷によって脳・心臓疾患を発症したとする労災認定件数は、2016年においては260件であった。これらの認定事案の約90%に時間外労働が月80時間以上となる長時間労働が認められ、特に50代と40代の労働者に顕著であった。また、総務省の労働力調査⁷⁾によると、2016年に週60時間以上勤務していた労働者人口は約429万人であり、未だに多くの労働者が長時間労働に曝されている。さらに、厚生労働省が公表した「業務上疾病発生状況等調査」⁸⁾によると、職場での健康診断において血圧や心臓などの心血管系に問題が発見された労働者は増加する傾向である。労働者の健康維持、および脳・心臓疾患にかかわる労災発生件数の減少には、長時間労働による心血管系負担の軽減策が緊急に必要なであるが、科学的エビデンスに基づいた労働安全衛生上の有効な対策が見出せていない。

勤務中の血圧は、勤務時間外や休日の血圧よりも高いことが報告されており^{9,10)}、勤務中の血圧上昇が大きい人は将来的に心血管系疾病リスクがより高いと考えられている¹¹⁾。血圧は心臓と血管系の反応により調節され

ていることが知られている。血圧上昇のみならず、血圧を維持する際にも重要なこれらの心臓反応と血管系反応は、将来の心血管疾患の発症リスクと関連し、特に血管系反応の大きい人は将来の疾病リスクが高いことが報告されている¹²⁾。心臓反応の指標としては、心臓から1分間に送り出される血液の量である心拍出量がよく用いられ、また、血管系反応の指標として、全身の末梢血管内で起こる血液の流れへの抵抗である総末梢血管抵抗が用いられる。我々の先行研究¹³⁾では、血圧が一定水準に維持された場合でも、背景血行動態反応は異なる場合があることが示された。したがって、背景血行動態反応の解明は心血管系負担の軽減策の検討に重要である。

一方、背景血行動態反応には、個人差が存在することが知られている。実際に、長時間労働に曝されている労働者の一部に、それが原因で脳・心臓疾患を発症し、過労死となった例が存在する。脳・心臓疾患の発症には遺伝的要因や個人の生活習慣などの影響も否定できないが、長時間労働に曝された場合に心血管系反応の観点から特にリスクの高いグループが存在する可能性がある。先行研究では、血圧上昇の度合いや血圧を維持する背景血行動態には、異なる反応パターンが存在することが報告されている¹⁴⁾。つまり、同じ時間帯に同じ作業を行う場合でも血圧が著しく上昇する人とあまり変化しない人が存在し、また変化する場合においても、主に心拍出量が増加する人と主に総末梢血管抵抗が増加する人が存在する。

このような長時間労働での血行動態反応の個人差を分析し、パターンによっていくつかのグループに集約させることができれば、それら各々の反応グループに合わせた負担軽減策を検討することが可能となる。結果として、実際の労働現場に具体的なかつ的確な対策を取り入れることができ、労働者の健康維持、さらに心血管系の疾患が原因となる過労死の予防にもつながると考えられる。本稿では、血行動態反応の異なる反応パターンについて説明し、さらに長時間作業を行う場合の血行動態反応の個人差について紹介する。

原稿受付 2017年10月10日 (Received date: October 10, 2017)

原稿受理 2018年1月22日 (Accepted date: January 22, 2018)

J-STAGE Advance published date: February 13, 2018

*1 労働安全衛生総合研究所産業疫学研究グループ

*2 千葉大学大学院工学研究科

連絡先: 〒214-8585 神奈川県川崎市多摩区長尾6-21-1

労働安全衛生総合研究所産業疫学研究グループ 劉 欣欣

E-mail: liu@h.jniosh.johas.go.jp

doi: 10.2486/josh.JOSH-2017-0012-KE

2 血行動態反応の異なる反応パターン

背景血行動態反応には、主に心拍出量の増加によって血圧が上昇する「心臓反応パターン」と主に総末梢血管抵抗の増加により血圧が上昇する「血管系反応パターン」、およびそれら両方の増加によって血圧が上昇する「心臓・血管反応パターン」の3つのパターンが存在することが報告されている(図1)^{14,15)}。我々の先行研究¹⁵⁾では、40名の健康な成人を対象とし、作業課題を5分間提示した場合の背景血行動態反応パターンについて検討した。

作業課題は、カラーワード課題および暗算課題とした。カラーワード課題は、色を意味する漢字がその意味と異なる色で提示され、参加者はその提示色を制限時間内に回答するという認知課題であった。例えば、「赤」という文字が画面上に「緑色」で提示された場合、参加者は黒色で「緑」と書かれた回答ボタンを選択し押下した。暗算課題は、1000から暗算で17を引いて、その結果からさらに連続して17を引くという課題であった。

結果として、いずれの作業課題に対しても背景血行動態反応の3つの反応パターンが確認された。さらに、反応パターンの作業課題による変化を検討した結果、19名(47.5%)は両課題とも同じ反応パターンを示し、21名(52.5%)は作業課題によって反応パターンが変化した。また、両課題においてともに血管反応(心臓・血管反応を含む)が見られた人は、他の人と比べてより血圧が上昇したことも示された。

3 長時間作業時の血行動態反応の個人差

心血管系反応の個人差を取り扱った先行研究、特に背景血行動態反応の個人差を検討した研究は、短時間の実験室実験のみであり、長時間作業での実験データは見られなかった。本研究では、長時間作業での背景血行動態反応について検討した。ここでは、4名の参加者の実験データを例示し、血行動態反応の個人差について紹介する。

実験では、約12時間(週60時間勤務を想定)の模擬的なパソコン作業を行う参加者の血行動態指標を実験室において断続的に測定した。参加者は心臓病、腎臓病、および脳卒中の既往歴のない40~50代の健康な成人男性であり、全員の安静時血圧は正常範囲内であった(収

縮期血圧<140mmHg、かつ、拡張期血圧<90mmHg)。実験日は喫煙およびカフェインを含む飲食を禁止し、食事は脂肪分や刺激の少ないものに限定した。参加者の体調への配慮から、実験室の室温は25℃に設定し、休憩中の水分摂取は制限しなかった。

作業は、午前(9:10~11:50)、午後I(12:50~15:30)、午後II(15:45~18:25)および夜(19:15~22:00)の4つの時間帯に分けて実施した。休憩は、午前と午後Iの間に1時間および午後IIと夜の間に50分間とし、さらに各作業時間帯内に10~15分程度の小休止を2回ずつ設けた。作業課題は、カラーワード課題、暗算課題、数字コピー課題を用いた。カラーワード課題は、前述とおりであった。暗算課題は、画面上に提示された2つのランダムな数字(10~49)を暗算で加算し、その結果を制限時間内に入力する課題であった。数字コピー課題は、画面上に提示されたランダムな10桁の数字を制限時間内に入力する課題であった。これらの3つの作業課題は、各作業時間帯内にそれぞれ1回(45分間)ずつ提示された。課題の提示順序は作業時間帯により異なった。例示する参加者4名の作業成績(平均正解率)はいずれも90%以上であり、参加者間での顕著な差は認められなかった。

血行動態指標として、収縮期血圧(SBP)、拡張期血圧(DBP)、平均動脈血圧(MAP)、心拍出量(CO)、総末梢血管抵抗(TPR)を連続血行動態測定装置(Finapres Pro, Finapres Medical Systems社製、オランダ)を用いて測定した。測定は作業開始前の安静状態(9:05~9:10)と各作業課題終了直前の5分間において行い、作業課題中に得られた測定値については、作業時間帯ごとにそれぞれ平均値を求めた。

血行動態反応の典型例として4名の参加者のデータを表1に示した。収縮期血圧と拡張期血圧について、作業開始前の安静時から夜までの変化量を求めると、参加者Aは+24.2mmHgおよび+13.59mmHg、参加者Bは+26.47mmHgおよび+3.72mmHg、参加者Cは+22.89mmHgおよび+9.5mmHgとなった。一方参加者Dは、収縮期血圧が+1.43mmHgであったのに対し、拡張期血圧は-4.88mmHgとなった。つまり、参加者

図1 血行動態反応の異なる反応パターン

表1 参加者の各測定時間帯の値

参加者	年齢	測定期間	SBP (mmHg)	DBP (mmHg)	MAP (mmHg)	CO (l/min)	TPR (MU)
A	49歳	安静	113.32	66.15	84.07	7.45	0.71
		午前	129.65	78.97	99.16	6.09	1.00
		午後I	129.42	77.49	97.74	6.40	0.96
		午後II	132.76	75.91	99.10	6.70	0.89
		夜	137.52	79.74	102.51	6.01	1.03
		安静	117.25	73.82	91.96	4.96	1.12
B	51歳	午前	129.01	76.59	97.72	5.30	1.12
		午後I	132.07	71.82	94.70	5.39	1.06
		午後II	139.30	75.32	100.69	5.00	1.23
		夜	143.72	77.54	103.48	5.15	1.22
		安静	119.19	70.65	90.52	4.02	1.36
		午前	133.25	73.88	98.09	3.98	1.49
C	57歳	午後I	128.96	70.66	94.30	4.20	1.37
		午後II	138.88	74.93	100.50	3.58	1.69
		夜	142.08	80.15	105.37	3.88	1.65
		安静	108.43	70.37	86.07	5.69	0.91
		午前	111.29	69.98	87.00	4.97	1.06
		午後I	109.93	65.73	84.31	4.93	1.03
D	54歳	午後II	117.91	70.88	90.89	3.87	1.42
		夜	109.86	65.49	83.78	4.65	1.10

図2 各測定時間帯の血行動態反応の変化傾向

A, B, Cは長時間作業によって血圧が著しく上昇したのに対し、参加者Dには明白な血圧上昇が認められず、血圧上昇の度合いには個人差があることが示された。

参加者A～Dについて、各指標の経時変化を図2に示した。参加者A, B, Cの作業中の収縮期血圧は、安静時と比べて午前ではともに著しく上昇したが、午後Iは午前とほぼ同じ水準で維持され、午後IIと夜は再び上昇した。拡張期血圧は、3名とも午前に上昇し、午後Iはいったん低下傾向を示したが、午後IIから再び上昇した。参加者A, B, Cの収縮期血圧と拡張期血圧はともに、夜に最高値を示した。一方、参加者Dの場合、午後IIを除き、収縮期血圧は安静時とほぼ同じ水準であった。拡張期血圧は、午後Iと夜に低下したが、午前と午後IIは安静時とほぼ同じ水準であった。参加者Dの収縮期血圧と拡張期血圧は午後IIで最高値を示し、参加者A, B, Cとは異なる反応傾向を示した。先行研究により、血圧には、起床時から上昇して午前中に最高値を示し、その後は徐々に低下して夜に最低値を示すという日内変動が存在することが報告されている¹⁶⁾。一方、本実験でみられた血圧上昇は、特に午後IIと夜に顕著であったことから、日内変動よりも作業のほうが血圧に及ぼす影響が大きかったと考えられる。ただし、本実験では作業を行わないコントロール条件を設定しなかったため、日内変動の詳細な影響については今後の実験において検討する必要がある。

背景血行動態反応についてもいくつかのパターンがみられた。参加者Aは作業中に心拍出量が減少し、総末梢血管抵抗が増加したのに対し、参加者Bでは作業中の心拍出量は安静時とほぼ変わらず、総末梢血管抵抗は午後IIと夜に増加した。参加者Cの作業中の心拍出量は安静時とほぼ変わらず、総末梢血管抵抗は午後IIと夜に著

しく増加した。参加者Dの昼間の心拍出量は減少傾向であったが夜には上昇し、総末梢血管抵抗は午後IIで最大値を示したがその他の時間帯は安静時とほぼ変わらなかった。参加者間での比較をすると、心拍出量では参加者Aが最も多く参加者Cが最も少なかったが、総末梢血管抵抗では反対に、参加者Aが最も小さく参加者Cが最も大きかった。参加者Bと参加者Dの心拍出量と総末梢血管抵抗は参加者Aと参加者Cの中間の水準であった。以上より、参加者の血圧を維持する背景血行動態反応にも大きな個人差が存在することが示された。これらの異なる血行動態反応パターンと将来の心血管疾病リスクとの詳細な関連は未解明であるため、さらなる検討が必要である。

4 労働安全衛生分野における応用と今後の課題

先行研究によると、心血管系の過剰反応を抑制因子として、主に心臓反応に影響する因子と主に血管系反応に影響する因子が存在すると報告されている¹⁷⁻²⁰⁾。例えば、抑鬱や怒りなどのネガティブ感情は主に総末梢血管抵抗を増加させるが、ポジティブ感情はこの増加を抑える効果あるいは早く回復させる効果がある。一方、リラクゼーションは、副交感神経の活動を高め、主に心臓反応を緩和する作用があると報告されている。長時間作業中の心臓反応と血管系反応を明らかにし、さらにこれらに影響を及ぼす因子を特定することによって、効率的に心血管系の過剰反応を抑制することが可能となる。その第一歩として、長時間労働による血行動態反応を解明することが重要かつ不可欠である。

本稿では、長時間作業の場合においても心血管系反応にはいくつかのパターンが存在すること、および、背景血行動態にも個人差が存在することを紹介した。今後は

これらの個人差をより詳細に分析し、適切な反応グループの個数や妥当な集約方法を引き続き検討する予定である。将来的に、心血管系の過剰反応を抑制する対策をそれぞれの反応グループの特徴に合わせて検討・提案することによって、心血管疾病の予防、ひいては過労死の防止につながるものと思われる。

謝 辞

本稿の実験の一部は厚生労働省労災疾病臨床研究事業費補助金（150903-01）の助成を受けて実施された。

文 献

- 1) 厚生労働省：平成28年度「脳・心臓疾患と精神障害の労災補償状況」まとめ（平成29年）。[Online]. 2017 [cited 2017 Sep 21]; Available from: URL: http://www.mhlw.go.jp/file/04-houdouhappyou-11402000-Roudoukijun-kyokuroudouhoshoubu-Hoshouka/28_noushin2.pdf.
- 2) Kivimäki M, Jokela M, Nyberg ST, *et al.* Long working hours and risk of coronary heart disease and stroke: A systematic review and meta-analysis of published and unpublished data for 603838 individuals. *Lancet*. 2015; 386: 1739–1746.
- 3) Virtanen M, Ferrir JE, Singh-Manoux A, Shipley MJ, Vahtera J, Marmot MG, Kivimäki M. Overtime work and incident coronary heart disease: The Whitehall II prospective cohort study. *Eur. Heart J*. 2010; 31(14): 1737–1744.
- 4) Virtanen M, Heikkilä K, Jokela M, Ferrie JE, Batty GD, Vahtera J, Kivimäki M. Long working hours and coronary heart disease: A systematic review and meta-analysis. *Am. J. Epidemiol*. 2012; 176(7): 586–596.
- 5) Liu Y, Tanaka H; Fukuoka Heart Study Group. Overtime work, insufficient sleep, and risk of non-fatal acute myocardial infarction in Japanese men. *Occup. Environ. Med*. 2002; 59(7): 447–451.
- 6) 脳・心臓疾患の労災認定基準。[Online]. 2001 [cited 2017 Sep 21]; Available from: URL: <http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/rousai/dl/040325-11.pdf>.
- 7) 総務省：労働力調査（平成28年）。[Online]. 2017 [cited 2017 Sep 21]; Available from: URL: <http://www.stat.go.jp/data/roudou/report/2016/index.htm>
- 8) 厚生労働省：業務上疾病発生状況等調査（平成28年）。[Online]. 2017 [cited 2017 Sep 21]; Available from: URL: <http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei11/dl/h28-10.pdf>.
- 9) Vrijkotte TGM, Doornen LJP, Geus EJC. Effects of work stress on ambulatory blood pressure, heart rate, and heart rate variability. *Hypertension*. 2003; 5(4): 880–886.
- 10) James GD, Moucha OP, Pickering TG. The normal hourly variation of blood pressure in women: Average patterns and the effect of work stress. *J. Hum. Hypertens*. 1991; 5(6): 505–509.
- 11) Guimont C, Brisson C, Dagenais GR, Milot A, Vézina M, Mâsse B, Moisan J, Laflamme N, Blanchette C. Effects of job strain on blood pressure: A prospective study of male and female white-collar workers. *Am. J. Public Health*. 2006; 96(8): 1436–1443.
- 12) Chida Y, Steptoe A. Greater cardiovascular responses to laboratory mental stress are associated with poor subsequent cardiovascular risk status: A meta-analysis of prospective evidence. *Hypertension*. 2010; 55(4): 1026–1032.
- 13) Liu X, Iwakiri K, Sotoyama M. White-collar workers' hemodynamic responses during working hours. *Ind. Health*. 2017; 55(4): 362–368.
- 14) Kasprowicz AL, Manuck SB, Malkoff SB, Krantz DS. Individual differences in behaviorally evoked cardiovascular response: Temporal stability and hemodynamic patterning. *Psychophysiol*. 1990; 27(6): 605–619.
- 15) Liu X, Iwanaga K, Shimomura Y, Katsuura T. Different types of circulatory responses to mental tasks. *J. Physiol. Anthropol*. 2007; 26(3): 355–364.
- 16) Drayer JI, Weber MA, Nakamura DK. Automated ambulatory blood pressure monitoring: A study in age-matched normotensive and hypertensive men. *Am. Heart J*. 1985; 109(6): 1334–1338.
- 17) Toivanen H, Lansimies E, Jokela V, Hanninen O. Impact of regular relaxation training on the cardiac autonomic nervous system of hospital cleaners and bank employees. *Scand. J. Work Environ. Health*. 1993; 19(5): 319–325.
- 18) Key BL, Ross KM, Lavoie KL, Campbell T. Depressed affect is associated with poorer cardiovascular recovery in young women following a mental stressor. *Ann. Behav. Med*. 2009; 38(2): 154–159.
- 19) McClelland AB, Jones KV, Gregg MED. Psychological and cumulative cardiovascular effect of repeated angry rumination and visuospatial suppression. *Int. J. Psychophysiol*. 2009; 74(2): 166–173.
- 20) Fredrickson BL, Levenson RW. Positive emotion speed recovery from the cardiovascular sequelae of negative emotions. *Cogn. Emotion*. 1998; 12(2): 191–220.