

運動開始前に過ごす明るさが超最大運動での エネルギー供給機構に及ぼす影響

名古屋工業大学 大 桑 哲 男
(共同研究者) 名古屋市立大学 穂 丸 武 臣

Influence of Bright and Dim Light Exposures on Energy Supply During Supramaximal Exercise

by

Tetsuo Ohkuwa
Nagoya Institute of Technology
Takeomi Akimaru
Nagoya City University

ABSTRACT

The purpose of this study was designed to examine the effect of exposure to two levels of light intensity (bright; 5000 lux and dim; 50 lux) prior to supramaximal cycle exercise on performance and energy supply. Double determinations were carried out for each subject at the same time on separate days. One day, supramaximal exercise after bright light exposure for ninety-minutes and the other day, after dim light exposure. Eight male long-distance runners, who aged 20.1 ± 0.6 (M \pm SD) years old volunteered to take part in the present study. They performed 45-sec supramaximal exercise using a cycle ergometer in a light intensity of 500 lux. The mean power output was measured during supramaximal exercise, and blood glucose, lactate, ammonia, adrenaline and noradrenaline concentrations were measured at rest, immediately after bright or dim light exposure, and immediately after, and 2.5, 5.0, 7.5 min after the supramaximal exercise. The mean power output of supramaximal exercise was $467.7 \pm$

39.6 (M ± SD) watt for bright light exposure and 461.7 ± 40.0 (M ± SD) watt for dim light exposure. It was observed that the bright and dim light exposures prior to exercise do not affect in power output of supramaximal cycle exercise. Blood glucose concentration immediately after supramaximal exercise was significantly lower after bright light exposure compared to dim light ($p < 0.05$). There was no effect of bright and dim light exposures on blood lactate concentration following supramaximal exercise. No significant difference was found in blood ammonia concentration after supramaximal exercise between bright and dim light exposures. From these results, it was cleared that the bright light stimulation prior to supramaximal exercise appeared to decrease the glucose level, but not related to prine nucleotide cycle and physical performance.

要 旨

本研究は超最大運動前に明るい環境 (5000 lux) と暗い環境 (50 lux) に暴露した際に作業成績とエネルギー供給, 特にプリンヌクレオチドサイクルと解糖系からのエネルギー供給に及ぼす影響について検討した。男子陸上長距離選手8名を対象に90分間にわたって5000 lux と 50 lux の光環境に暴露した後, 45秒間の超最大自転車駆動作業を500 luxの照度にて行わせ, 作業中の仕事率, 両光環境暴露前後, 及び運動後の血中乳酸, グルコース, アンモニア, アドレナリン, ノルアドレナリン濃度を測定した。運動前に明るい環境と暗い環境で過ごした後の自転車運動での仕事率に有意差は認められなかった。運動前の明るい環境と暗い環境への暴露は超最大運動での血中アンモニア濃度に影響を与えなかった。運動前に暗い環境で過ごすよりも明るい環境で過ごした時に比べて運動直後の血糖値は有意に高い値が認められた。運動前の明るい環境と暗い環境への暴露は超最大運動での血中乳酸濃度に影響を与えなかった。以上の結果から明るい光刺激は超最大運動での仕事率やプリンヌクレオチドサイクル系のエネルギー供給に影響しないが, 糖代謝に影響することが明らかとなった。

緒 言

これまで, 異なった光環境での運動が作業成績に及ぼす影響についていくつか報告がなされている。Asmussenら¹⁾は閉眼での前腕及び指での作業量は開眼での作業に比べ仕事量は減少することを報告している。一方O'Brienら¹³⁾は3種類の照度 (1411 lux, 2788 lux 及び 6434 lux) において, 疲労困憊までの自転車作業時の仕事率は照度によって差が認められなかったと報告している。Zhangら¹⁸⁾は, 明るい環境 (照度 5000 lux) への暴露は暗い環境暴露 (照度 50 lux) に比べ持久性運動での仕事率は増大することを認めている。一方, 夜間に明るい環境に暴露されると作業成績は高まるが³⁾, 早朝では逆に低下するとの報告^{3), 5)}や, 明るい環境や暗い環境に暴露されても, 作業成績は変わらないとの報告がなされてきた^{2), 13)}。さらにZhangら¹⁸⁾は, 明るい環境に暴露されると, 唾液中乳酸濃度は減少し, 暗い環境では増大することを認めている。このことは明るい光刺激は解糖を抑制し, 暗い光刺激は亢進することが考えられる。無酸素的運動の主なエネルギーは解糖系であることから, 異なった照度の光刺激は無酸素的運動での作業成績やエネルギー供給に影響を及ぼすことが推察される。これまでの報告では,

有酸素的運動を負荷して作業成績を観察したものに限られ、無酸素的運動での作業成績に光刺激が及ぼす影響に関する報告は見あたらない。本研究では運動開始前に明るい環境と暗い環境で90分間を過ごし、その後の超最大運動での作業成績とエネルギー供給に及ぼす影響をプリンヌクレオチドサイクルと解糖系から明らかにした。

1. 研究方法

1. 1 被検者

被検者は大学の陸上部に所属する男子長距離選手8名である。被検者の年齢、身長、体重、及び5000 m最高記録の平均値と標準偏差はそれぞれ 20.1 ± 0.60 才、 172.4 ± 5.9 cm、 55.9 ± 3.4 kg、 15.4 ± 0.3 分であった。

1. 2 実験方法

実験は各被検者に2日間にわたって行わせ、1日目は4名が明るい環境、他の4名が暗い環境に暴露し、2日目は1回目とは異なった環境に暴露した後に、同じ超最大運動を行わせた。いずれの日も各被検者は同一時間に実験を行った。各被検者には本研究の趣旨および起こりうる危険性を十分説明し同意を得た後、実験を行った。実験日は1週間の間隔を置き行った。被検者は実験開始30分前に実験室に到着し、30分間静かに安静を保ち、血液を採取した後、明るい環境の部屋あるいは暗い環境の部屋にて90分間の安静を維持した。明るい部屋の照度は被検者の目の高さで5000 lux、暗い部屋は50 luxに設定した。照度は照度計(ANA-F9 lux meter; Tokyo Photo-Electric C. LTD)にて測定した。超最大運動は自転車エルゴメーター(Powermax V, Combi Company)を使用し、自転車作業は立位姿勢にて運動開始から全力で作業するように指示した。運動負荷(kp)は体重(kg)に0.075を乗じて求め、その平均値と標準偏差は 4.1 ± 0.3 kpであった。超最大運動中

の照度は500 luxに設定した。被検者はウォーミングアップとして運動前にストレッチング、3秒間の自転車運動を全力で行った後、1分間の休息後、超最大運動テストを行った。超最大運動中に平均パワーを測定した。

1. 3 血液中物質の測定

被検者は運動終了後、すばやく簡易ベッドに横たわり血液が採取された。採血は光環境に暴露される前後と運動終了直後、2.5分、5.0分、7.5分に正中皮下静脈から行われた。血中乳酸濃度は乳酸ラクテート・プロ(LT-1710, 京都第一科学)を使用して測定した。アンモニア濃度はアミチェック(京都第一科学)にて測定し、残りの血液は血漿を分離し(遠心分離)、血糖、アドレナリンおよびノルアドレナリン濃度を測定した。なお、アドレナリンとノルアドレナリン濃度は異なった光環境暴露後及び運動直後のみ測定を行った。グルコース濃度はグルコース測定用キット(シグマ)を用いて、分光光度計(島津製作所, UV 1240 mini, 吸光度340 nm)にて測定した。アドレナリンとノルアドレナリン濃度は高速液体クロマトグラフィーにて行った⁷⁾。

1. 4 統計処理

被検者のプロフィールおよび各測定値は平均値±標準偏差で示した。両光環境暴露前後、及び運動後の各変数間の差は反復測定による二元配置分散分析(two-way analysis of variance for repeated measurements; 光環境、時間経過の2要因)を用いて検定し、有意性が確認された項目について、Fischer's PLSD法による多重比較検定を行った。血漿アドレナリンとノルアドレナリン濃度の両光環境間の有意差検定はウイルコクソン検定にて行った。有意水準は $p < 0.05$ とした。

2. 研究結果

図1に90分間の明るい環境 (5000 lux) で過ごした群と暗い環境 (50 lux) で過ごした群についての45秒間の超最大運動での仕事率 (power) を示した。運動時間経過に伴う仕事率は両群間に有意差は認められなかった。また45秒間の最大仕事率および平均仕事率も両群間に有意差は見られなかった。図2にアンモニア濃度の結果を示した。両光環境に暴露後、及び超最大運動後のアンモニア濃度は、明るい環境に暴露された時に高い値を

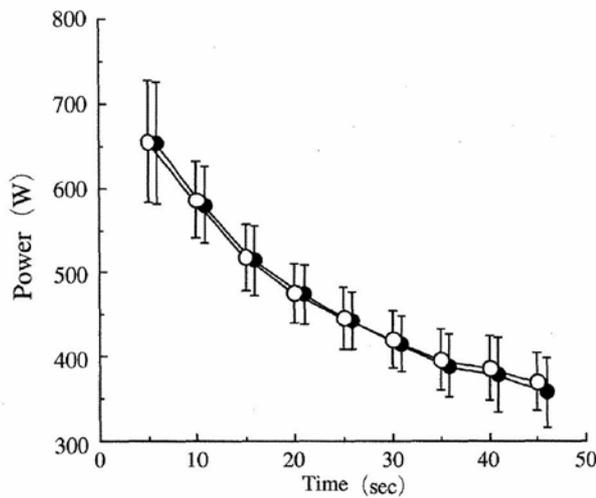


図1 超最大運動における時間経過に伴う仕事率の変化 平均値±標準偏差、
○；明るい環境 (5000lux) ●；暗い光環境 (50lux)

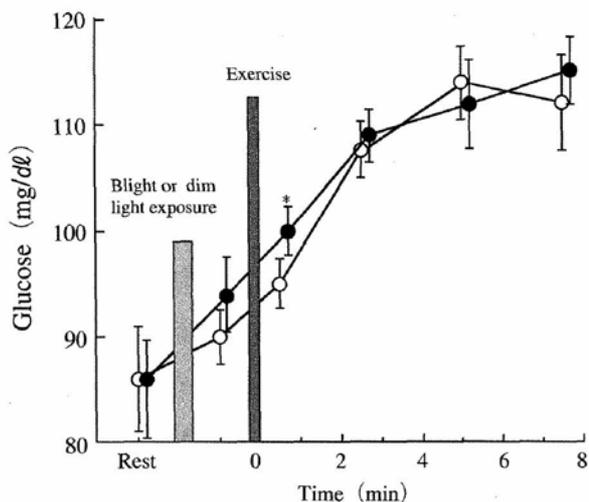


図3 光環境暴露前後、及び超最大運動後の血糖値の変化 平均値±標準偏差、
○；明るい環境 (5000lux) ●；暗い環境 (50lux)
* p<0.05 明るい環境と暗い環境間の有意差

示したが、両条件間に有意差は認められなかった。図3には光環境暴露前後、及び超最大運動直後、2.5、5.0、7.5分での血糖値を両群間で比較した。明るい環境での90分間の安静は、暗い環境に比べて、低下傾向を示したが、有意差は認められなかった。暗い環境暴露後に超最大運動を行わせると、明るい環境暴露に比べ血糖値は、運動直後に有意に高値を示した (p<0.05)。図4は異なった光環境暴露前後、及び超最大運動後の血中乳酸濃度を示した。安静状態にて明るい環境に暴露されると血中乳酸濃度は低下する傾向が認められたが、

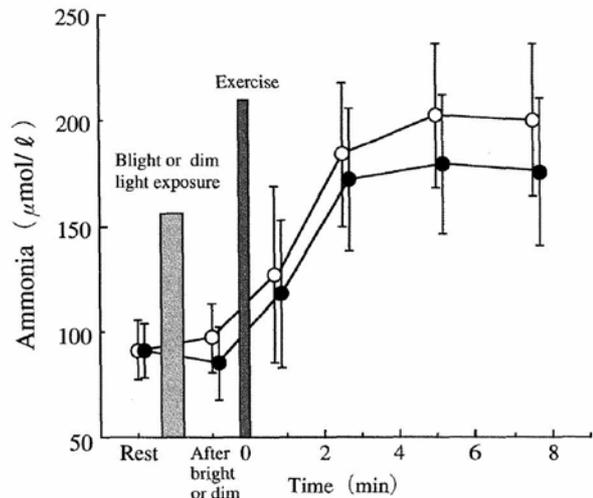


図2 光環境暴露前後、及び超最大運動後の血中アンモニア濃度の変化 平均値±標準偏差
○；明るい環境 (5000lux) ●；暗い環境 (50lux)

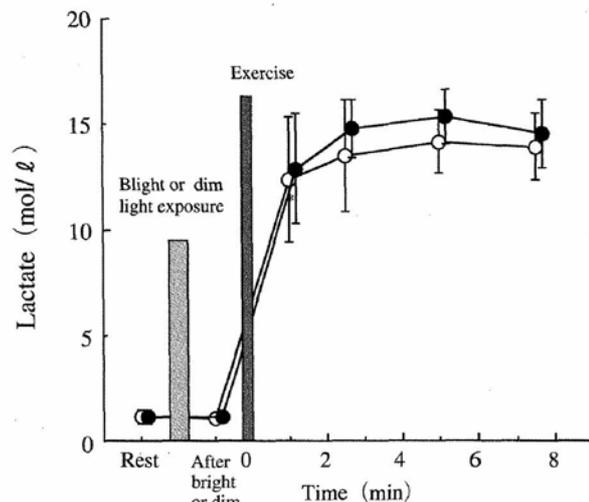


図4 光環境暴露前後、及び超最大運動後の血中乳酸濃度の変化 平均値±標準偏差
○；明るい環境 (5000lux) ●；暗い環境 (50lux)

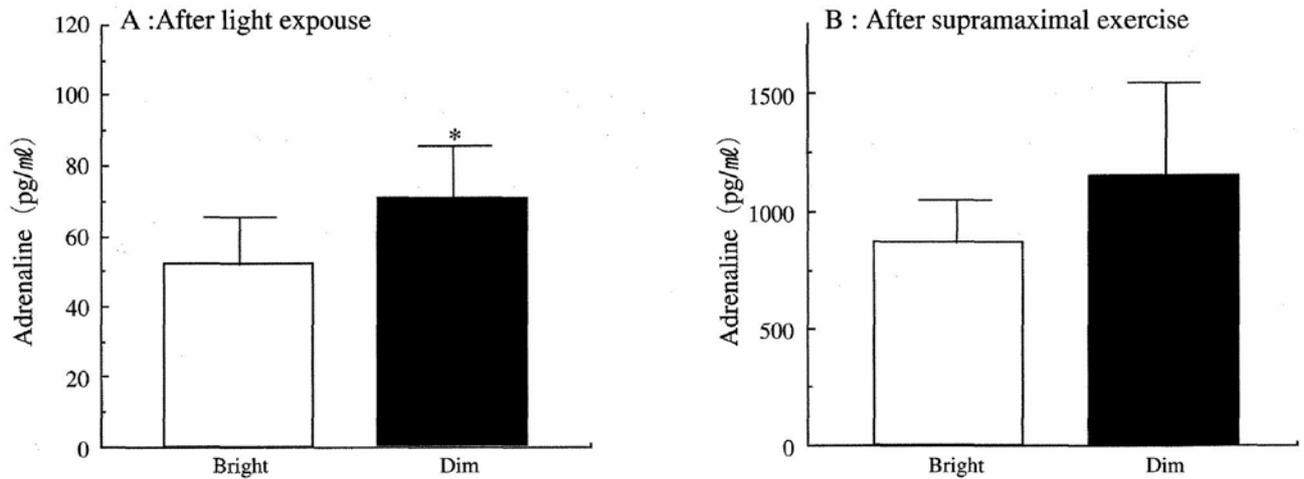


図5 光環境暴露後 (A) 及び超最大運動直後 (B) の血漿アドレナリン濃度の比較
 平均値±標準偏差 * p<0.05 明るい環境と暗い環境間の有意差

統計的に有意な差は認められなかった。図5には異なった光環境への暴露と超最大運動直後の血漿アドレナリン濃度を示した。安静状態にて、暗い光刺激は明るい光刺激に比べ有意に増大した (p<0.05)。最大運動直後も同様な傾向が見られたが、有意差は認められなかった。血漿ノルアドレナリン濃度は異なった光環境への暴露後と超最大運動後において両光条件間に有意差は認められなかった。

3. 考 察

本研究において、90分間の明るい環境と暗い環境への暴露は超最大運動での仕事率に影響を与えないことが明らかとなった。これまでに光環境が作業成績に及ぼす影響に関する研究は非常に少なく、一致した知見は得られていない。この理由として照度の度合い、暴露時間など光環境への暴露条件や、運動強度、持続時間など運動条件の差異によるものと考えられる。本実験の結果は異なった光刺激に暴露されても作業成績に影響を与えないとするこれまでの報告と一致している^{2),13)}。一方、運動前に暗い環境に暴露されると作業成績は低下するとの報告もなされている¹⁸⁾。Dauratら³⁾は、夜間では明るい環境に暴露されると作業成績は増大するが、早朝で逆に低下することを認

めている。Frenchら⁵⁾も早朝での明るい光刺激は作業成績を低下させると報告している。こうしたことから、光刺激が作業成績に及ぼす影響は、運動する時間帯によって異なるのかもしれない。

アンモニアは安静時においては、肝臓、小腸、脳、腎臓などで生成される¹⁴⁾が、骨格筋での生成は非常に少ない⁸⁾。しかし、激しい運動を行うと多くのアンモニアが骨格筋で生成される⁹⁾。運動による血中アンモニア濃度の増大はアデニンヌクレオチドの分解をよく反映している^{6),15),17)}。本研究において、アデニンヌクレオチドの分解は異なった光刺激により影響されないことが明らかとなった。

運動により増大する血中乳酸濃度は筋中で生成された乳酸濃度を反映し、グリコーゲン分解の指標である¹²⁾。本研究において、超最大運動前に異なった光環境に暴露されると、血糖値は運動直後に有意に高い値が認められた。また有意差は見られなかったものの血中乳酸濃度が暗い環境暴露後に高い傾向が認められた。Zhangら¹⁹⁾は明るい環境に暴露されると、唾液中の乳酸濃度は暗い環境に比べ有意に低下することを報告している。異なった光環境への暴露後の運動による血糖の変化は、体液性のアドレナリンが重要な役割を果た

しているものと考えられる¹¹⁾。アドレナリンによる β 受容体刺激はアデニール酸シクラーゼを活性化し、細胞内のcAMP (cyclic adenosine 3',5'-monophosphate)を増加させる。cAMPの増加はホスホリラーゼa活性を増大させ、血糖値を高める。これまでにアドレナリン分泌は暗い環境で増大し、明るい環境で減少することが報告されている¹⁶⁾。本実験においても、暗い環境への暴露は明るい環境に比べ血漿アドレナリン濃度は有意に増大した。また暗い環境への暴露後に行った超最大運動において、血漿アドレナリン濃度は明るい環境暴露に比べ、高い傾向が認められた(図5)。本研究において、暗い環境暴露後の超最大運動直後の血糖値の増大は、運動前の血中アドレナリン濃度と関係しているのかもしれない。

暗い環境での血糖値が増大するもう一つの理由としてメラトニン分泌の増大が考えられる。Dollinsら⁴⁾は暗い環境への暴露は明るい環境暴露に比べ血清メラトニン濃度が増大することを報告している。Mazepaら¹⁰⁾はラット腹腔内にメラトニンを注射し運動させると、血糖値はメラトニンを注射しなかった群(運動のみ)に比べ有意に増大することを報告している。

これらの結果から、明るい光刺激は超最大作業での仕事率やプリンヌクレオチドサイクル系のエネルギー供給には影響しないが、グルコース代謝に影響を与えることが明らかとなった。

4. まとめ

明るい環境(5000 lux)と暗い環境(50 lux)に90分間暴露した後に500 luxでの光環境下にて超最大運動を陸上男子長距離選手に行わせ、自転車作業での仕事率、作業後の血中グルコース、乳酸、アンモニア、アドレナリン及びノルアドレナリン濃度に及ぼす影響を検討した。

1) 90分間の異なった光環境暴露は超最大作業での仕事率に影響を及ぼさなかった。

2) 安静時及び超最大運動後の血中のアンモニアと乳酸濃度は異なった光環境暴露による有意差は認められなかった。

3) 運動前に明るい光刺激を与えると、暗い光刺激に比べ超最大運動直後に血糖値は有意に減少した。

4) 明るい環境への暴露は、暗い環境に比べ血漿アドレナリン濃度は有意に低値を示した。

これらの結果から、運動前の明るい環境への暴露は超最大作業での仕事率やプリンヌクレオチドサイクル系のエネルギー供給に影響しないが、グルコースの代謝に影響を及ぼすことが明らかとなった。

謝 辞

研究助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学財団に厚くお礼申し上げます。また、本研究実施にあたり多大の御協力をいただきました名古屋工業大学の伊藤宏講師、スポーツ医学研究所の柳等先生、名古屋大学大学院医学研究科の山本貴子さん、名古屋大学総合保健体育科学センターの佐藤祐造教授に深く感謝致します。

文 献

- 1) Asmussen, E., Mazin, B. ; A central nervous component in local muscular fatigue, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 38, 9-15 (1978)
- 2) Badia, P., Myers, B., Boecker, M., Culpepper, J. ; Bright light effects on body temperature, alertness, EEG and Behavior, *Physiol. Behav.*, 50, 583-588 (1991)
- 3) Daurat, A., Foret, J., Touitou, Y., Benoit, O. ; Detrimental influence of bright light exposure on alertness, performance, and mood in the early morning, *Neurophysiol. Clin.*, 26, 8-14 (1996)
- 4) Dollins, A.B., Lynch, H.J., Wurtman, R. J.,

- Deng, M.H., Lieberman, H.R. ; Effects of illumination on human nocturnal serum melatonin levels and performance, *Physiol. Behav.*, 53, 153-160 (1993)
- 5) French, J., Hannon, P., Brainard, G.C. ; Effects of bright illuminance on body temperature and human performance, *Annu. Rev. Chronopharmacol.*, 7, 37-40 (1990)
- 6) Hageloch, W., Schneider, S., Weicker, H. ; Blood ammonia determination in a specific field test as a method supporting talent selection in runners, *Int. J. Sports Med.*, 11, S56-S61 (1990)
- 7) Lin, P.Y.T., Bulawa, M.C., Wong, P., Lin, L., Scott, L., Blank, C.L. ; The determination of catecholamines, indoleamines, metabolites, and repeated enzymatic activities using three micron liquid chromatography columns, *J. Liq. Chromatogr.*, 7, 509-538 (1984)
- 8) Lockwood, A.H., McDonald, J.M., Reiman, R.E., Gelbard, A.S., Laughlin, J.S., Duffy, T.E., Plum, F. ; The dynamics of ammonia metabolism in man, *J. Clin. Invest.*, 63, 449-460 (1979)
- 9) Lowenstein, J.M. ; The purine nucleotide cycle revised, *Int. J. Sports Med.*, 11, S37-S46 (1990)
- 10) Mazepa, R.C., Cuevas, M.J., Collado, P.S., González-Gallego, J. ; Melatonin increases muscle and liver glycogen content in nonexercised and exercised rats, *Life Sci.*, 66, 153-160 (2000)
- 11) McDermott, J.C., Elder, G.C.B., Bonen, A. ; Adrenal hormones enhance glycogenolysis in nonexercising muscle during exercise, *J. Appl. Physiol.*, 63, 1275-1283 (1987)
- 12) Medbo, J.I. ; Glycogen breakdown and lactate accumulation during high intensity cycling, *Acta Physiol. Scand.*, 149, 85-89 (1993)
- 13) O'Brien, P.M., O'Connor, P.J. ; Effect of bright light on cycling performance, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32, 439-447 (2000)
- 14) Onstad, G.R., Zieve, L. ; What determines blood ammonia ?, *Gastroenterology*, 77, 803-805 (1979)
- 15) Sahlin, K., Broberg, S. ; Adenine nucleotide depletion in human muscle during exercise: causality and significance of AMP deamination, *Int. J. Sports Med.*, 11, S62-S67 (1990)
- 16) Tsaritsynsky, V.I., Strelanaya Ye. I., Bozhko, G. Kh., Taranskaya, A. D. ; Catecholaminic shifts in those depressive patients exposed to high intensity light, *Lik. Sprava.*, 84-86 (1996)
- 17) Tullson, P.C., Terjung, R.L. ; Adenine nucleotide degradation in striated muscle, *Int. J. Sports Med.*, 11, S47-S55 (1990)
- 18) Zhang, P., Tokura, H. ; Influence of two different light intensities during daytime on endurance performance of handgrip exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 74, 318-321 (1996)
- 19) Zhang, P., Tokura, H. ; Thermoregulatory responses in humans during exercise after exposure to two different light intensities, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 79, 285-289 (1999)