論文題目

高温・輻射環境下運動時における着衣条件と温熱ストレスに関する実験的研究

Thesis Title

Experimental study of the relationship between clothing and heat stress during exercise under radiant heat condition

辻　　道夫

Tsuji　Michio

京都工芸繊維大学

Kyoto Institute of Technology

目　　次

第１章　緒言・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１
１．１　研究の背景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１
　１．１．１　地球の温暖化と熱中症・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１
　１．１．２　温熱ストレスの評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１
　１．１．３　着衣と温熱ストレス・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２
１．２　最近の研究動向と問題点・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２
１．３　研究目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３
　１．３．１　WBGT28℃以上の輻射環境下における着衣条件の違いが運動時の温熱ストレスに与える影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３
　１．３．２　WBGT28℃以上の輻射環境下における四肢部露出の有無が運動時の温熱ストレスに与える影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３
　１．３．３　総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４
参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・５

第２章　WBGT28℃以上の輻射環境下における着衣条件の違いが運動時の温熱ストレスに与える影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・７
２．１　目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・７
２．２　実験方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・７
　２．２．１　実験環境・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・７
　　２．２．１．１　輻射負荷の設定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・７
　　２．２．１．２　気流・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・７
　　２．２．１．３　WBGT・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・８
　２．２．２　被験者・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・８
　２．２．３　負荷強度の設定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・８
　２．２．４　実験手順・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・８
　２．２．５　測定項目・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・９
　２．２．６　統計的方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０
２．３　実験結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０
２．４　考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０
２．５　まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１２
参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１３

第３章　WBGT28℃以上の輻射環境下における四肢部露出の有無が運動時の温熱ストレスに与える影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２２

３．１　目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２２
３．２　実験方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２２
　３．２．１　被験者・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２２
　３．２．２　実験環境・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２２
　３．２．３　実験手順・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２３
　３．２．４　測定項目と測定方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２３
　３．２．５　統計的方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２４
３．３　実験結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２４
３．４　考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２５
　３．４．１　体温と発汗量・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２５
　３．４．２　主観的感覚（温冷感，RPE）と HR・・・・・・・・・・・・・・・・２６
３．５　まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２８
参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２９

第４章　総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４０

第１章　緒言

１．１　研究の背景

１．１．１　地球の温暖化と熱中症

近年，人間の生活活動に伴う CO_2 等の温室効果ガスの排出量増大により，地球の温暖化が問題になっている. 2007 年に発表された「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」の第 4 次評価報告書は，これまでの 100 年間に世界全体の平均気温は 0.74℃上昇し，21 世紀末にはさらに 1.8～4.0℃上昇すると予測している(環境省，2008). また大都市の都市部では郊外より気温が“島状”に上昇する「ヒートアイランド現象(Heat Island Phenomena)」が認められている. 東京都をはじめ 6 大都市の気温は過去 100 年で 2～3℃上昇したが，地球温暖化による上昇は平均 0.6℃とされており，残りはヒートアイランド現象によると考えられている. その原因はアスファルトやコンクリートで地表が覆われ，そこに日射熱が蓄積されること，また，自動車排気ガスの増大やエアコンの大量使用がさらに外気温を押し上げること，緑地の減少により，水分の蒸発による気温低下が少ないことなどであり，ヒートアイランド現象は大気の“熱汚染”とも呼ばれている. 日中の最高気温が 30℃を超える「真夏日」や 2007 年に新たに定められた最高気温が 35℃を超える「猛暑日」，明け方の最低気温が 25℃以下にならない「熱帯夜」が増加しているのは，この現象の影響とされている(国立環境研究所，2004).

こうした温暖化を背景として，運動場面や日常生活での熱中症の発生が危惧される. 中井ら(2007)の報告によると，熱中症による死亡者数は，1968 年から 2005 年までの 38 年間で 5,433 件に上り，2001 年には 431 件，2004 年には 449 件と漸次増加傾向が見られる. このように近年，日本においては熱中症が増加傾向にある(中井ほか，2007). 特に屋外で実施するスポーツや運動時および肉体作業時での暑熱障害による多くの死亡例が報告されている(中井ほか，1992；1996).

１．１．２　温熱ストレスの評価

日本体育協会では，「熱中症予防のための運動指針」の温度指標として湿球黒球温度(Wet Bulb Globe Temperature, WBGT)を採用している. WBGT とは，人体の熱収支に影響の大きい湿度，気温， 輻射熱の 3 つを取り入れた指標で，乾球温度， 湿球温度，黒球温度の値を使って求めることが出来る. 屋外において太陽光から受ける輻射熱の測定には，黒球温度計が用いられる. 労働環境においても「WBGT（湿球黒球温度）指数に基づく作業者の熱ストレスの評価―暑熱環境」として，JIS Z 8504， 世界的にも ISO7243 として規格化されるなど，WBGT は高温環境における温熱ストレスを評価する有用な指標である. WBGT が 28℃を超えると暑熱障害のリスクが高まり(Dennis and Noakes，1999)，熱中症による死亡数も増加するので(中井ほか，1992；1996)，日本体育協会指針では WBGT が 28℃を超えた環境下では，激しし運動を原則禁止として注意を呼びかけている.

１．１．３　着衣と温熱ストレス

着衣や帽子は輻射熱を減少できるので(Pascoe et al.，1994 ; Gavin et al. , 2001)，屋外での温熱ストレスを軽減できる可能性がある．一方，着衣は皮膚表面からの熱伝導や汗の蒸発を抑制するため，運動時の放熱を減少させて(Gavin，2003)，温熱ストレスを増加させる可能性も考えられる．そこで，運動時の温熱ストレスを軽減できるような衣服素材の開発が進められている．熱の伝導と吸収は綿 100%が良いが，蒸発と通気性についてはポリエステル 100%が理想的であり，これらの特性を生かして，綿とポリエステルの混合素材を用いてスポーツユニフォームが作られている(Hassan et al.，2012)．また，綿製生地は発汗時に湿気を吸収し(Smith and Block，1982)，心地よさをもたらす(Gavin，2003)．さらに，黒い衣服に比べて白い衣服では太陽光からの輻射熱を減少させる(Nielsen，1990)．したがって，白色で綿とポリエステルの混紡でつくられたスポーツユニフォームは，輻射熱を減らし適切なレベルに空気を通して放熱する効果があるため，スポーツ・運動現場で広く用いられている．

高温環境下での運動時では多量の発汗により衣服が湿潤する場合がみられる．このような現象に関して永田と米田（1966）は，　予め水を含んだ湿潤衣服を着用すれば，衣服に含まれた水が蒸発して身体を冷却し，それだけ発汗の必要が少なくなる．その結果，発汗量が減少しても熱放散を維持できるならば，湿潤衣服の着用は高湿環境下による温熱ストレスを軽減できる可能性があると報告している．しかし白井ら(1998)は，吸汗発散機能を持つ機能性スポーツユニフォームの着用効果を検討した結果，綿素材と比較して吸収した汗の発散機能が優れており、主観的項目においても優れていたが，深部体温と発汗量には差が認められなかったことから熱中症を防ぐほどの効果は認められないと報告している．このように，着衣と温熱ストレスについては実験条件や着衣の素材等が異なると効果も異なる．

１．２　最近の研究動向と問題点

これまで運動時の着衣条件については様々な実験結果が報告されている（McCullough and Jones，1984 ; 新矢ら，2004 ; 2005 ; Hassan et al.，2012 ;　Pasco et al.，1994 ; Gavin et al.，2001 ; 2012）．その中で夏季スポーツ活動時の着衣条件に最も近い研究として，新矢ら(2004)は WBGT28℃以上の高温環境下において，野球やサッカー等のスポーツユニフォーム着用と半裸体(水泳パンツのみ)の条件で自転車運動を実施した場合の体温調節反応について検討し，皮膚温，深部体温(食道温)，心拍数および発汗量は裸体時に比べてスポーツユニフォーム着用時が有意に高値であると報告している．また，皮膚温上昇は深部体温の上昇と相関し，さらに深部体温の上昇は発汗量や心拍数上昇に関係すると報告している.したがって，スポーツユニフォームを着用することは皮膚表面からの蒸発による熱放散が阻害されて体温が上昇する可能性があるので，運動能力の低下や暑熱障害発生の危険性が増すことが示唆される.しかし，熱中症のリスクが高まる WBGT28℃以上の環境条件において，スポーツユニフォーム着用時における運動時の温熱ストレスの程度を明らかにした研究は，

新矢ら(2004 ; 2005)の研究以外あまり見当たらない．また，中井ほか(2007)は，運動と体温上昇や発汗量の温熱ストレスに関する研究を総合して，年齢や着衣を考慮した運動時の熱中症予防の新しい指針を提唱しているが，着衣についてはスポーツ現場に応用できる実験的データが少ないために，具体的な指針を示すことが出来ないのが現状の問題点と考えられる．

１．３　研究目的

１．３．１　WBGT28℃以上の輻射環境下における着衣条件の違いが運動時の温熱ストレスに与える影響

近年，暑熱障害の予防対策として環境温度への配慮や水分補給の重要性等が指摘されてきたが，着衣に関しては日本体育協会によるスポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック(1999)に「服装は軽装で，吸湿性や通気性のよい素材にする．屋外で直射日光がある場合には，帽子を着用する．防具を付けるスポーツでは休憩中に衣服を緩め，できるだけ熱を逃がす.」と記載されている程度で，明確な指針が示されておらず，運動時の着衣形態は半袖や長袖，上半身裸体など各個人の判断に委ねられているのが現状である．新矢ら(2004; 2005)によるスポーツユニフォームの着用が運動時の体温調節反応に及ぼす影響を検討した研究では，野球ユニフォームの着用は，裸体状態と比較して 2～3 倍の深部体温上昇，さらには発汗量，心拍数の増加を導くことが示されている．しかし，これらは温度と湿度のみを設定した実験環境に関するもので，着衣条件に加えて太陽の輻射熱や気流など，自然環境を総合的に考慮した研究はあまり見当たらない．暑熱障害の予防対策として着衣に関する指針の実験的根拠を示すためにも，輻射熱に暴露された環境下における運動時の体温調節反応に与える着衣条件の影響を定量化する必要があると考えられる．

第 2 章では，夏季のグラウンドに近い輻射熱と気流を再現した WBGT28℃以上の実験室において，着衣条件の違いによる運動時の温熱ストレスの差異について明らかにすることを目的とした．

１．３．２　WBGT28℃以上の輻射環境下における四肢部露出の有無が運動時の温熱ストレスに与える影響

夏季に実施されるスポーツ活動の多くはスポーツユニフォーム着用が一般的であり，水泳やボクシングのように半裸体で実施するスポーツは極めて少ない．つまりスポーツユニフォームの多くは体幹部を衣服で覆われているため，四肢部露出の有無(半袖・半ズボンと長袖・長ズボンの違い)が夏季運動時の熱放散に関与して温熱ストレスの程度を決定する重要な要因と考えられる．　手足と四肢部の占める体表面積の割合は約 60%であり，四肢部の皮膚血流量の増加は乾性放熱量の調節に有効である(中山，1981)．皮膚血流のみで体熱出納平衡が可能な中和温域においては，四肢部の皮膚温は体幹部より低く，環境温が上昇すると四肢，体幹部の順に皮膚の循環血液量が増加する．そのため皮膚温の上昇は四肢部が体

幹部より大きくなる(Hertzman, 1959). その際, 四肢部を衣服で覆っていると放熱が減少するので，暑熱下運動時の温熱ストレスを増加させる可能性が高い．また，無風下での暑熱環境下運動時には，有風下と比べて体温や心拍数の上昇が大きくなり，温熱ストレスが高まる(Adams et al, 1992).

第 3 章では，暑熱障害が多発する WBGT28℃以上の屋外グラウンドに類似した無風・太陽輻射環境下の運動時において，四肢部露出の有無が運動時の温熱ストレスに与える影響を明らかにすることを目的とした.

１．３．３　総括

第 4 章では，第 2 章と第 3 章の実験結果に基づき，スポーツ現場における暑熱障害の予防対策に関する着衣条件について総括した.

参考文献

Adams WC, Mack GW, Langhans GW, Nadel ER (1992) Effects of varied air velocity on sweating and evaporative rates during exercise. J Appl Physiol 73:2668-2674

Dennis SC, Noakes TD (1999) Advantages of a smaller body mass in humans when distance-running in warm, humid conditions. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 79: 280-284

Gavin TP, Babington JP, Harms CA, Ardelt ME, Tanner DA, Stager JM(2001) Clothing fabric does not affect thermoregulation duringexercise in moderate heat. Med Sci Sports Exer 33:2124–2130

Gavin TP (2003) Clothing and themoregulation during exercise. Sports Med 33:941-947

Hassan M, Qashqary K, Hassan HA, Shady E, Alansary M (2012) Influence of sports fabric properties on the health and performance. Fibres Text Eastem Europe 204(93):82-88

Hertzman AB (1959) Vasomotor regulation of cutaneous circulation. Physiol Rev 39:280-306

環境省（2008）熱中症環境保健マニュアル
http://www.env.go.jp/chemi/heat_stroke/manual.html

国立環境研究所（2004）地球温暖化と健康
http://www.nies.go.jp/archiv-impact/index.html

永田久紀，米田幸雄（1966）高温環境における湿潤衣服の効果（予備実験）．産業医学 8: 381-384

中井誠一，寄本明，森本武利（1992）環境温度と運動時熱中症事故発生との関係．体力科学 41: 540-547

中井 誠一，新里 寛英，森本 武利(1996) 熱中症発生に関する疫学的検討 日生気誌 33：71-77

中井誠一，新矢博美，芳田哲也，寄本明，井上芳光，森本武利（2007）：スポーツ活動および日常生活を含めた新しい熱中症予防対策の提案―年齢，着衣及び暑熱順化を考慮した予防指針―．体力科学 56: 437-444

McCullough EA， Jones BW (1984) Institute for environmental technicalreport: a comprehensive database for estimating clothing insulation. Kansas State University Press，Manhattan，pp 84–101

中山昭雄（1981）温熱生理学．理工学社，東京，p496

日本体育協会(1999) スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック．公益財団法人日本体育協会，株式会社ニッポンインターナショナルエージェンシー，東京，pp10

Nielsen B (1990) Solar heat load: heat balance during exercise in clothed subjects. Eur J Appl Physiol 60:15-25

Pascoe DD， Shanley LA， Smith EW (1994) Clothing and exercise. Sport Med 18:38-54

新矢博美，芳田哲也，常岡秀行，中井誠一，伊藤孝 (2004) スポーツユニフォームの違いが高温環境下運動時の体温調節反応に及ぼす影響．体力科学 53: 347-356

新矢博美，芳田哲也，常岡秀行，中井誠一，伊藤孝(2005) 着衣条件の違いによる皮膚温変化が運動時の体温反応と温熱ストレスに与える影響．体力科学 54: 259-268

白井克佳，菅原順，横山典子，松田光生（1998）：吸汗発散機能を持つスポーツウェアの運動時着用効果．体力科学 47: 881

Smith BF，Block I (1982) Natural fiber. In: Tauber H (ed) Textile in perspective. Prentice-Hall，Englewood Cliffs，pp. 70-156

第２章　WBGT28℃以上の輻射環境下における着衣条件の違いが運動時の温熱ストレスに与える影響

２．１　目的

WBGT26℃以上の室内気候条件における運動時の温熱ストレスは，低負荷運動(180kcal／h，約 50W)より中負荷運動(420kcal／h，約 120 W)が大きいため(Rodriguez, 2012)，多くの産熱を生じる中程度以上の運動において着衣による放熱の減少は運動時の温熱ストレスを増加させることが示唆される．

第２章では，有風・輻射環境下で WBGT28℃を越える環境下で運動を行った場合，中程度以上の運動では低負荷運動よりも運動時の温熱ストレスは衣服の着用により増加することを実験仮説とした．この仮説を検証するために， WBGT28℃以上の輻射熱と気流を再現した実験室において，着衣の有無による運動時の体温調節反応について明らかにすることを目的とした．

.

２．２　実験方法

２．２．１実験環境

２．２．１．１　輻射負荷の設定

日本の真夏では太陽から 700 kcal/m²/h 程度の輻射熱を受ける．中井ら（1990)は，夏の屋外グラウンドでは乾球温度が 30ºC の時に太陽輻射に曝露された黒球温度は約 40ºC になることを報告している．本研究の実験室は乾球温度 30ºC、湿球温度 25 ºC（相対湿度 65%）に設定し、予備実験にて被験者の身体付近 4 箇所（腹部，頭部，右大腿部，左大腿部）に設置した黒球温度の平均が約 40ºC になるように出力 1.5 kW のライト(PAR-64-100-1500NSP; Ryo, Japan) を２基, 被験者の左前方（被験者から 3.1 m;高さ 1.25 m　角度 50º）と上部右前方（被験者から 3.1 m;高さ 2.15 m;　角度 60º）に設置して(Fig. 1)輻射負荷を設定した．この条件で 30 分照射した結果、腹部の黒球温度は 42.6ºC、頭部は 38ºC、右大腿部は 41ºC、左大腿部は 41.8ºC　であり、４カ所の平均は 40.9ºC であった．

２．２．１．２　気流

身体に心地良いと考えられている平均気流は約 0.8 m/s であることが報告されている(Fountain and Arens，1993)．本研究では約 0.8 m/s の気流を Fig. 2 のように正面に枠を取り付けた工業用ファン(SF-45MV-1V; Suiden Co., Ltd.,Tokyo, Japan，Fig.2)を用いて発生させた．また自然風は常に一定ではなく乱れを持ち、その乱れの強さは気流速度の変動係数で示される(Furuya and Kubota 1975)．気流の変動係数の値として、草原は 15-20%、都市部では 25-50%であることが報告されている（石崎，1978)．本実験条件における気流の変動係数を確認するため，風速計(CW-50; Custom, Tokyo, Japan)を実際の被験者と工場扇の距離である 3.1 m 付近（高さは被験者の腹部付近となる 0.7 m）に三脚で固定し，工業用ファンから風速計に受ける気流の速度を 10 分間，定点測定を行った．その結果，変動係

数は 16.2%であり、草原の値（15-20%）と類似していた.

２．２．１．３　WBGT

本研究における８名の被験者に対する４つの実験条件（計 32 回）の平均環境温度は、乾球 30.0±0.1ºC (平均± 標準誤差)、湿球 25.0±0.2ºC、黒球 40.9±0.2ºC であり，WBGT　(0.7 × 湿球 ＋0.2 × 黒球 ＋0.1 × 乾球, Yaglou and Minard, 1957)は 28.7±0.1ºC.であった.

２．２．２　被験者

被験者は週に 1～2 日運動を行っている健康な男子大学生８名とした．身体的特徴は，年齢 22.9±0.3 歳，身長 173.0±0.3cm，　体重 62.4±2.9kg であった．さらにキャリパー(皮下脂肪計：株式会社ヤガミ製 MK-60)を用いて上腕背部(8.3±1.3mm)，肩甲骨下角(10.5±13.9mm)，腹部(8.3±1.3ｍｍ)を計測し，Nagamine and Suzuki (1964)の計算式より求めた体脂肪率は 13.9±1.1％であった．なお，全被験者に対し事前に研究の目的，方法，起こりうる危険性などを十分説明し，書面による参加の同意を得た上で実施した．また，本研究は京都工芸繊維大学におけるヒトを対象とする研究倫理審査委員会による審査，承認を受けて実施した.

２．２．３　負荷強度の設定

本実験の１週間以上前に自転車エルゴメーターを用いた毎分 60 回転による負荷漸増法にて最大酸素摂取量(Peak oxgen uptake, VO_{2peak})を測定した．まず 1 kp の負荷から自転車運動を開始し、4 分毎に 1 kp 増加させ、３kp の運動（12 分）後、1 分毎に 0.25 kp の負荷を漸増し、疲労困憊に至まで運動を行った．運動中は呼気ガス分析器(Mets-900; Vise Medical Ltd., Chiba, Japan)を用いて酸素及び二酸化炭素の濃度を分析し、各負荷での運動時における酸素摂取量を算出し，各被験者における酸素摂取量と負荷強度との回帰直線を求めた．本研究に用いた負荷強度は被験者毎の回帰直線から算出し，最大酸素摂取量の 20% と 50%の負荷とした．それぞれの負荷強度は、ウオーキング(20%)及びジョギング(50%)に相当する負荷強度である.

２．２．４　実験手順

Fig.3 に実験プロトコルを示す．被験者には，実験当日昼食を摂らず，正午に実験室に来室させた．また，被験者の生理的なコンデイションを保つため 24 時間激しい運動を禁止し，17 時間以上前からの塩分，アルコール，カフェインの摂取を禁じた．実験開始前に脱水を避けるために 200~300 ml の水分を補給した後，被験者は水泳パンツまたは白色スポーツユニフォームを着用し，すべての測定用センサーを身体各部位に装着した．30 分以上，椅座位安静の後に安静時の測定を開始し，5 分後に照明(Fig.1)及び工業用ファン(Fig.2)の電源を入れ，20 分後にリカベント式自転車エルゴメーター(EC-3600，CAT EYE，Osaka，Japan)による運動を開始した．被験者は 20 分間の自転車漕ぎ運動を 5 分間の休憩を挟んで３回(合

計60分間)実施した．このプロトコルは実際のスポーツ現場における練習形態をモデル化したものであり，寄本(1992)と新矢ら(2004)の実験方法に準じた． なお水分補給による体温上昇の抑制を排除するため，自転車運動中に水分補給は行わなかった.また，照明の光から目を保護するために，被験者にはスポーツサングラスを装着させた． 実験終了後に汗を十分拭き取り，最小表示 10 g (AND 社製 FW-100K)の体重計を用いて裸体体重を測定した．着衣条件は，競泳用水着（ミズノ社製８５RT900）のみの半裸体（Swimming pants, SP）条件と ，長袖シャツ（asics 社製 XA6045，ポリエステル 55%綿 45%の混紡,）とハーフパンツ（asics 社製 XGT804，ポリエステル 100%）の白色スポーツユニフォーム（White sportswear, WS）条件とし，実験は 20%および 50%負荷の 2 条件を組み合わせた 4 条件を 1 週間以上の間隔をあけて実施した．

２．２．５　測定項目

心拍数(Heart rate，HR)の測定は，心電心拍送信機(日本光電社製 ZB-811P)とベットサイドモニター(日本光電社製 BSM-7201)を用いて行った．皮膚温(Skin temperature，Tsk)は，直径２mm の熱電対を用いて測定を行った．また，Tsk の測定の際は，照明による光で熱電対が暖められ正確に測定できなくなる可能性があるため，測定部にサージカルテープを 3 枚重ねて貼付した．平均皮膚温(Mean skin temperature, $\bar{T}$sk)は，前額部，胸部， 腹部， 上腕， 前腕，大腿部と下腿部の Tsk を用いて Nadel et al.(1973)の計算式から算出した． 食道温（Esophageal temperature, Tes）は，直径１㎜の熱電対を用い Mekjavic and Rempel (1990)の推定式を参考に被験者ごとに算出した位置(40－45 cm)まで鼻腔から食道へ挿入した． 平均体温（Mean body temperature, $\bar{T}$b）及び貯熱量（Heat storage, S)は，次の計算式から算出した．

$\bar{T}b = 0.9 \times Tes + 0.1 \times \bar{T}sk$ (Gagge and Nishi，1977)

S＝体重 ×$\bar{T}$b 上昇度（Δ$\bar{T}$b）× 3474 × s^{-1} W (Nielsen，1990)

前腕の皮膚血流量(Skin blood flow，SkBF)の測定にはレーザードップラー皮膚血流計(Omega Flow 社製 FLO-C1)を用いて行った．また，光が直接当る SP 条件においてはペットボトルのキャップを加工し，その表面をアルミ箔で覆い，皮膚血流の測定部位に光が入射するのを防いだ．Tes， $\bar{T}$sk， HR と SkBF の測定データは 30 秒毎に PC 専用ソフト（DASYLab 6.0）で記録した．

主観的運動強度(Rate of perceived exertion，RPE)の測定は，小野寺 と 宮下 （1976）によって日本語表記された Borg 式主観的運動強度を，温冷感(Thermal sensation, TS)は，温冷感指標(Young et al. 1987)の日本語訳を用いて測定した．また RPE と TS は 5 分毎にその Scale を被験者に提示して記録した．総発汗量は呼気の水分量(Mitchell et al.，1972)を減じた上で，実験開始前後に測定した裸体体重の変化量から算出した．

２．２．６　統計的方法

実験にて得られた体温等の各測定値は，平均値±標準誤差で示した．また，着衣条件間の比較は，まず 2 要因の反復測定分散分析（Two-way repeated measures ANOVA）を行い，有意な交互作用が認められた場合に Bonferroni の post-hoc　テストを実施した．いずれの検定結果についても，有意水準は 5%未満とした．

２．３　実験結果

Fig.4 に Tes 上昇（ΔTes）と$\bar{T}$sk および$\bar{T}$b 上昇（Δ$\bar{T}$b）を示す．$\bar{T}$sk は 20%と 50%運動時において WS 条件より SP 条件が有意に高かった($p<0.01$)．20%運動時において，WS 条件と SP 条件とのΔTes は同様の傾向を示したが，Δ$\bar{T}$b は安静 10 分目と Exercise -1(20 分～40 分)では WS 条件より SP 条件が有意に高かった．50%運動において，ΔTes は Exercise -2（45 分～65 分）及び Exercise -3（70 分～90 分）において SP 条件より WS 条件が高い傾向($p < 0.07$)を示した．Δ$\bar{T}$b についても，安静 20 分目では WS 条件より SP 条件が有意に高かった．

Fig.5 に HR と安静時を基準とした SkBF (%SkBF)を示した．HR は 20% と 50%運動において WS 条件が SP 条件よりも高かった．%SkBF は 20%運動時の照明点灯後から Exercise-1 において SP 条件が WS 条件より高い傾向を示し，50%運動前の安静時では WS 条件より SP 条件が有意に高かった($p<0.05$-0.01)．

Fig.6 に RPE と TS の変化を示す．20%および 50%運動時の RPE と TS は，WS 条件が SP 条件よりも高く，20%運動では Exercise -1 または Exercise -2，50%運動では Exercise -1 または Exercise -3 に有意差($p<0.05$-0.01)が認められた．

Table 1 は安静時（0~20 分間）および運動時（20~90 分間）の S を示す．両運動前の安静時では WS 条件が SP 条件よりも有意に低かった．しかし運動時の S は 20%運動より 50%運動が有意に高く，さらに 50%運動時では WS 条件が SP 条件よりも有意に高かった．

20%運動における WS 条件の脱水量(0.69±0.04 kg)および脱水率（体重当たり 1.12±0.06%）は，SP 条件（0.73±0.03kg，1.17±0.05%)と同様であった．しかし 50%運動では，WS 条件(1.28±0.11 kg，2.07±0.16%)は SP 条件（1.17±0.10 kg，1.89±0.13%)に比べて有意に大きかった($p<0.01$)．さらに脱水量と脱水率は，20%運動より 50%運動が有意に高かった($p<0.01$)．

２．４　考察

本研究ではΔTes と脱水量，脱水率は 20%運動において着衣条件に有意差が認められなかった．しかし，50%運動において，WS 条件のΔTes は高い傾向を示し，Exercise -3 終了時では，HR，RPE，TS，脱水量，脱水率は SP 条件に比べて WS 条件が有意に高値を示した（$p<0.05$）．さらに S は 20%運動において着衣条件に差は認められなかったが，50%運

動では，SP 条件に比べて WS 条件が有意に高値を示した．以上の結果より， 輻射熱と気流を再現した環境下において，20% 運動の温熱ストレスは両着衣条件間で類似しているが，50%運動においては SP 条件より WS 条件が高くなることが示された．

永田と米田(1966)は，軽運動において 500 g の水分を含んでいる湿潤衣服着用時の発汗量は乾燥衣服着用時より少ないが，湿潤衣服着用時の$\bar{T}$sk と $\bar{T}$b は運動開始後に低下したと報告している．したがって，衣服に含まれる水分量の違いは，有風・輻射熱における運動時の放熱反応に関係すると考えられる．しかし，本研究で着用した白色スポーツユニフォームは運動前では水分を含んでおらず，20%および 50% 運動開始後，$\bar{T}$sk と Δ$\bar{T}$b は著しく上昇したため，永田と米田(1966)が報告した湿潤衣服着用による放熱効果は少なかったと考えられる．

本研究の S は，20 分の安静中では SP 条件に比べて WS 条件が明らかに低かった．安静時の ΔTes は一定の値であり，$\bar{T}$sk は SP 条件より WS 条件が低値であったため，着衣着用による S の減少は，照明の点灯後における$\bar{T}$sk の上昇抑制が原因と考えられる．しかし，20%運動の S は，両着衣条件間で類似していたが，50%運動では SP 条件より WS 条件が高値を示した．以上の結果から 20%運動における SP 条件と WS 条件との熱バランスは類似していたが，50%運動では SP 条件よりも WS 条件の放熱量が少ないために，S が大きくなったと考えられる．また 50%運動による WS 条件の ΔTes は SP 条件よりも高い傾向であり，ΔTes に関係する発汗量（脱水量）（Benzinger，1959）は，WS 条件で２％を超え，SP 条件よりも有意に高かった．2%を超える脱水量は運動能力の低下を導く（Yoshida et al., 2002）．さらに WS 条件の HR，RPE 及び TS は 50%運動時の後半以降から SP 条件よりも有意に高かった．このように，WBGT28℃以上の有風・輻射環境下において，WS 条件による S の上昇は 50%運動時の後半以降に生理的・心理的ストレスを導くことが示唆された．

新矢ら（2004)は，高温環境下において全身が覆われる野球やサッカーのスポーツユニフォーム着用時と半裸体時(水泳パンツのみ着用)で自転車運動を実施した場合の体温調節反応について検討し， 皮膚温，深部体温(食道温)，心拍数および発汗量は，スポーツユニフォーム着用時が裸体時に比べて有意に高値であったことを報告している．また，皮膚温上昇は食道温の上昇と相関し，さらに食道温の上昇は発汗量や心拍数上昇に関係することを示した．新矢ら（2004)の環境条件（WBGT28℃）や負荷（250 W/m^2， 約 50% $_{peak}$)および実験プロトコルは本研究と同様の方法で実施されているが，輻射熱や気流を用いた研究ではない．本研究の WS 条件は，長袖シャツにショートパンツを着用しているため，体の表面の露出は少なく，皮膚は布で覆われているので，前腕以外は新矢ら（2004)によるサッカーのスポーツユニフォーム着用時とほぼ同様である．しかし本研究は，正面から 0.8 m/s の風を当てているため，熱伝導や対流による放熱量は大きいが，ライトの輻射熱により$\bar{T}$sk は SP 条件で増加した． したがって，本研究と新矢たち（2004）による実験結果の違いは気流と輻射熱の違いによるもとの考えられる．

小野寺と宮下(1976)の報告によると，RPE と HR は相関する．また，酒井ら（1991)は，運動における着衣の主観的感覚について実験を行い，短袖スポーツユニフォームに比べて長袖スポーツユニフォームでは不快感が増し，濡れた感覚や着衣の湿気を強く感じるようになると報告している．本研究において，50%運動では発汗により着衣内側の湿度が増加するため精神的に不快感を感じるようになり，結果的に WS 条件における HR，TS と RPE が上昇した可能性が考えられる．しかし， 20%運動の後半では WS 条件と SP 条件との主観的感覚(TS，RPE)に明確な違いはなく，ΔTes についても同様の傾向を示した．したがって有風・輻射環境下における軽運動の後半では，主観的感覚は着衣条件による差異は認められないことが明らかになった．

Gavin et al. (2001)は，太陽光からの輻射熱を再現した環境温 30°C の室内において，一般的な綿素材または蒸発性の高いポリエステル素材の衣服を着用して，最大酸素摂取量の 70%のランニングを 30 分間，その後最大酸素摂取量の 40%のウォーキングを 15 分間の実施した結果， 直腸温，平均皮膚温，心拍数，そして不快感は衣服の素材による差異は認められなかったと報告している．しかし，綿貫ら（1992)は輻射環境下の実験室にて，最大酸素摂取量の 50%の自転車運動を 20 分間実施した結果，最初の 15 分間と回復期においては，輻射熱を遮断する素材を着用した場合が綿素材の着用よりも酸素摂取量や HR は低かったと報告している．つまり運動中において，着衣素材による体温上昇の差異が認められない場合は，輻射熱を遮蔽する衣服を着用していれば生理的な温熱ストレスを減少させる可能性が考えられる．

一般的にスポーツユニフォームの着用は裸体より紫外線暴露を減らすことが出来る．本研究では 20%運動の温熱ストレスは WS と SP との条件間で類似していた．つまり WBGT28℃以上の厳しい夏の日に屋外で軽運動をするには，ポリエステル・綿混紡のスポーツユニフォームを着用することが紫外線から皮膚を保護するためにも望ましいと思われる．

２．５　まとめ

本研究は，WBGT28℃以上の輻射・有風下において，軽い運動ではポリエステル・綿混紡のスポーツユニフォームを着た場合の温熱ストレスは，セミヌード状態と同じであるが，中程度の運動では，スポーツユニフォーム着用条件がセミヌード状態よりも生理的・心理的な温熱ストレスを高めることが示唆された．

参考文献

Benzinger TH (1959) On physical heat regulation and the sense oftemperature in man. Proc Natl Acad Sci USA 45:645–659

Fountain ME, Arens EA (1993) Air movement and thermal comfort. ASHRAE J 35:26–30

Furuya T, Kubota T (1975) Physiological reaction of men under exerciseto radiant heat. Bull Tokyo Med Dent Univ 22:79–92

Gagge AP, Nishi Y (1977) Heat exchange between human skin surfaceand thermal environment. In: Lee DHK (ed) Handbook of physiology. American Physiological Society, Bethesda MD Am Physiol Soc pp. 69-92

Gavin TP, Babington JP, Harms CA, Ardelt ME, Tanner DA, Stager JM(2001) Clothing fabric does not affect thermoregulation duringexercise in moderate heat. Med Sci Sports Exer 33:2124–2130

石崎潑雄（1978）：耐風工学．朝倉書店，東京，pp. 31

Mekjavic IB, Rempel ME (1990) Determination of esophageal probeinsertion length based on standing and sitting height. J Appl Physiol 69:376–379

Mitchell JW, Nadel ER, Stolwijk JAJ (1972) Respiratory weight lossduring exercise. J Appl Physiol 32:474–476

Nadel ER, Michell JW, Stolwijk JAJ (1973) Differential thermal sensitivityin the human skin. Pfugers Arch 34:071–076

Nagamine S, Suzuki S (1964) Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. Hum Biol 36:8–15

永田久紀，米田幸雄（1966）高温環境における湿潤衣服の効果（予備実験）．産業医学 8: 381-384

中井 誠一，寄本 明，森本 武利（1990）夏季運動時温熱環境の実態と温熱指標の比較．体力科学 39: 120–125

Nielsen B (1990) Solar heat load: heat balance during exercise in clothedsubjects. Eur J Appl Physiol 60:15–25

小野寺孝一，宮下充正（1976）全身持久性運動における主観的運動強度と客観的強度の対応性：Rating of Perceived Exertion の観点から．体育學研究 21:191-203

Rodriguez RM (2012) Influence of aerobic fitness on thermoregulationduring exercise in the heat. Exer Sports Sci Rev 40:79–87

酒井清子，間瀬清美(1991) 温熱生理学の基礎的研究―被服形態の差異による着用快適性について―，名古屋女子大学紀要 37:21-29

新矢博美，芳田哲也，常岡秀行，中井誠一，伊藤孝(2004) スポーツユニフォームの違いが高温環境下運動時の体温調節反応に及ぼす影響，体力科学 53:347-356

綿貫茂喜，平岡万里子，土井正，清川寛(1992) 新素材を用いた夏用スポーツユニフォームの生理的着用効果．日本生理人類学会 11: 585-592

Yaglou CP, Minard CD (1957) Control of heat casualties at militarytraining. Am Med Ass Archs Ind Health 6:302–316

寄本明(1992)：WBGT を温熱指標とした暑熱下運動時の生体応答と熱ストレスの評価，体力科学 41: 477-484

Yoshida T, Takanishi T, Nakai S, Yorimoto A, Morimoto T (2002) Thecritical level of water deficit causing a decrease in human exerciseperformance: a practical field study. Eur J Appl Physiol 87:529–534

Young AJ, Sawka MN, Epstein Y, Decristofano B, Panddolf KB (1987) Cooling different body surfaces during upper and lower body exercise.J Appl Physiol 63:1218–1223

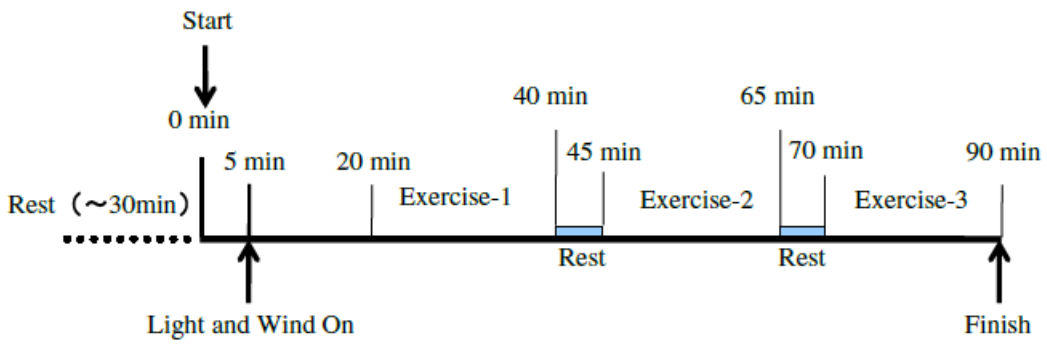


Fig. 1. Experimental protocol

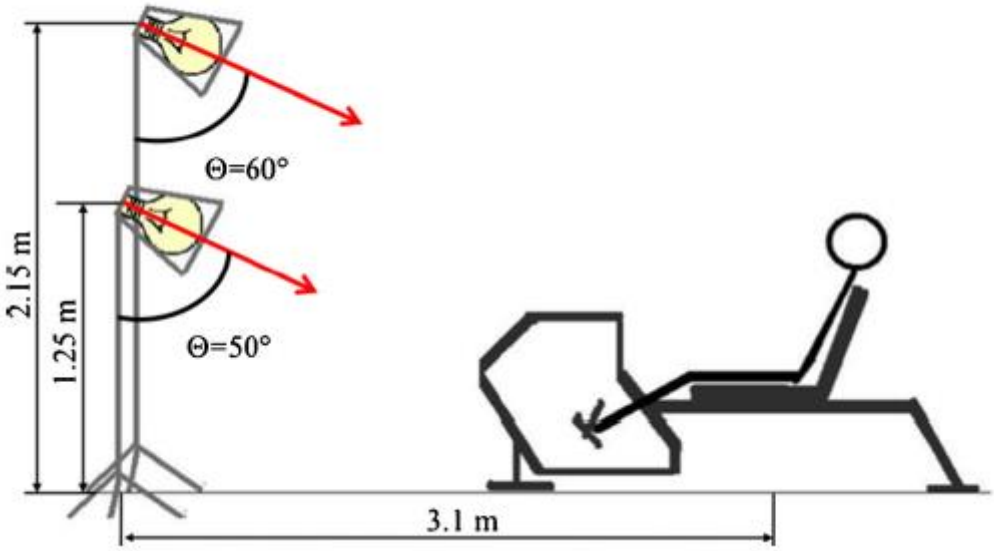


Fig. 2. Positions of two lights used to generate the radiant heat load in the experiments

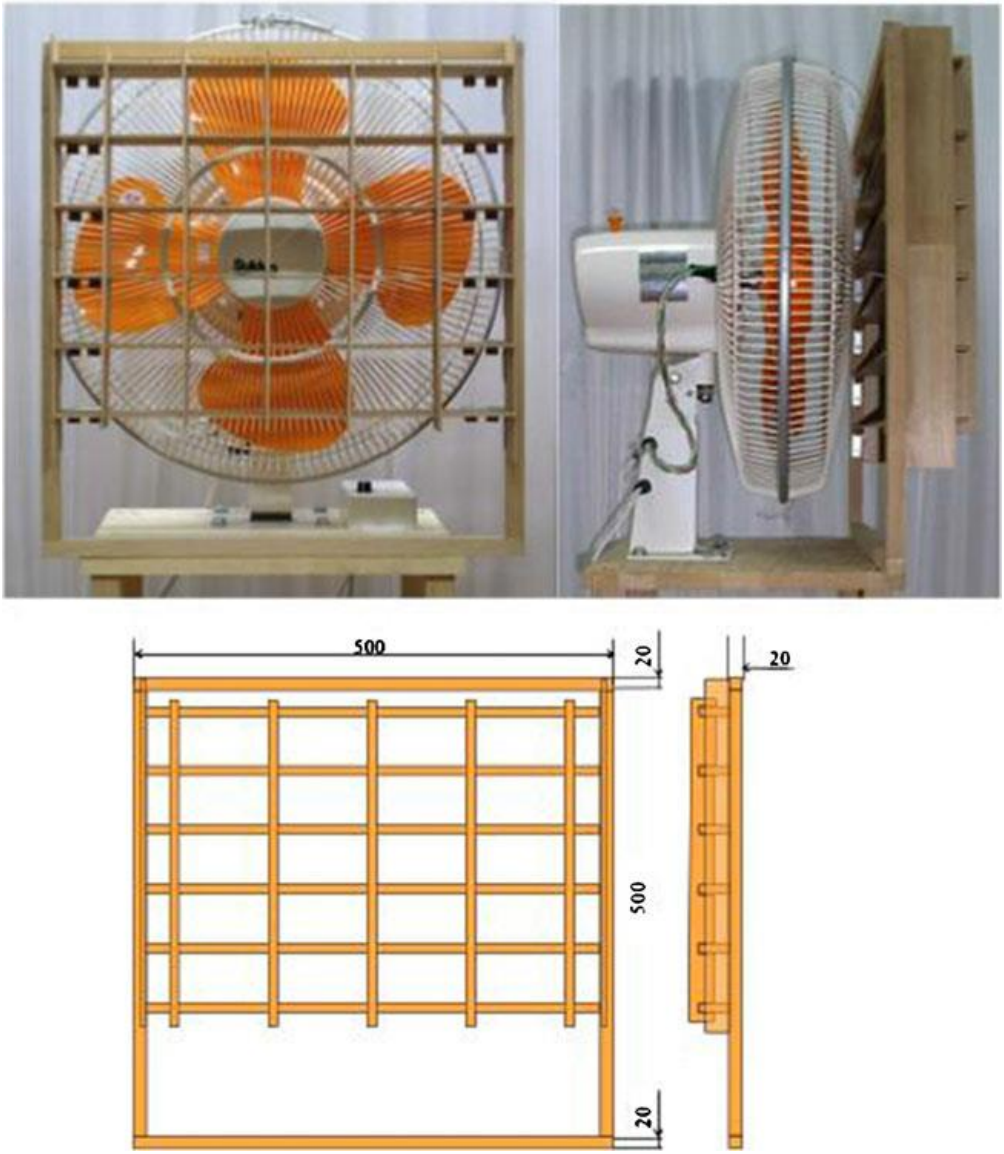


Fig. 3. Electric fan with a frame used in the experiments

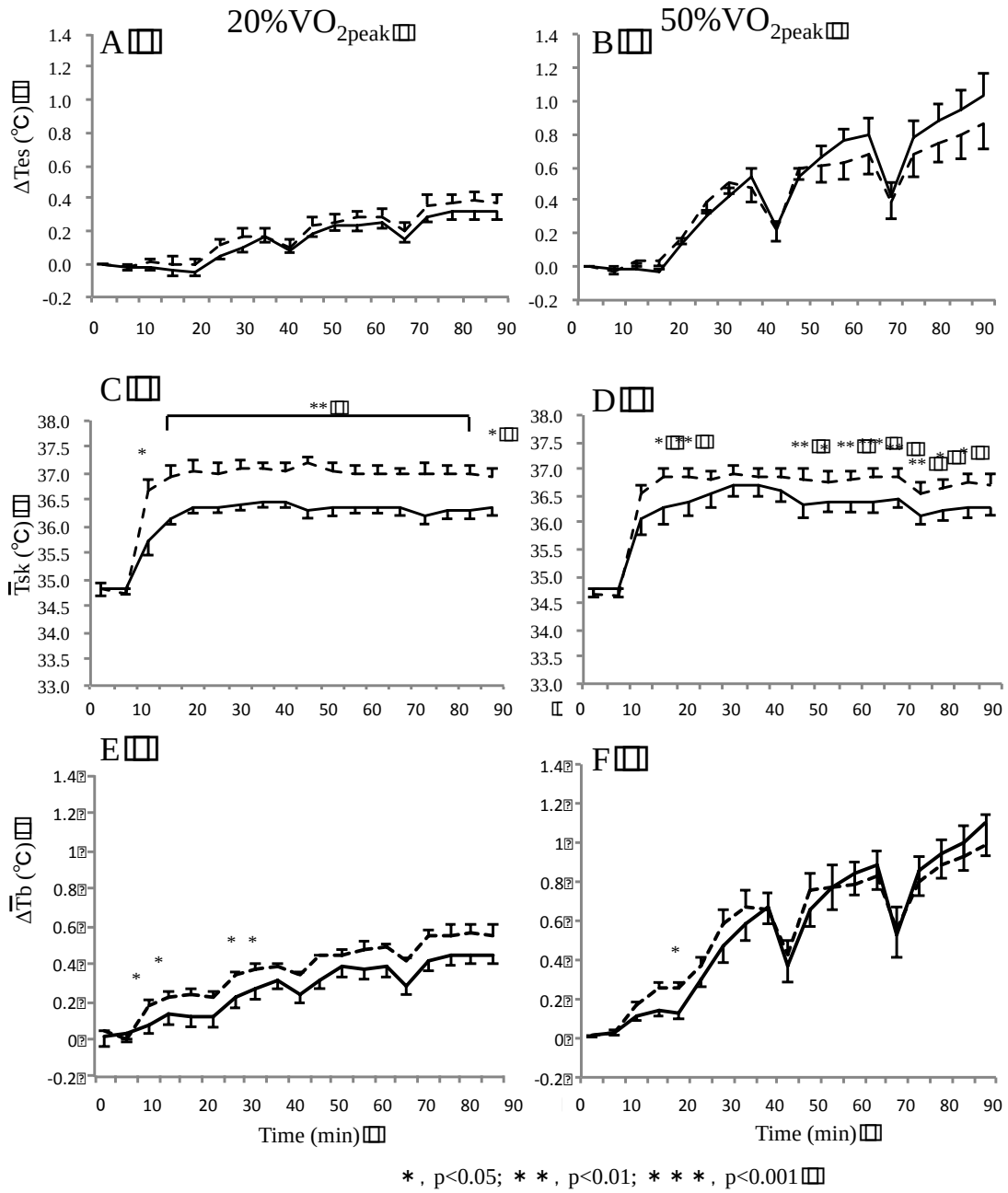
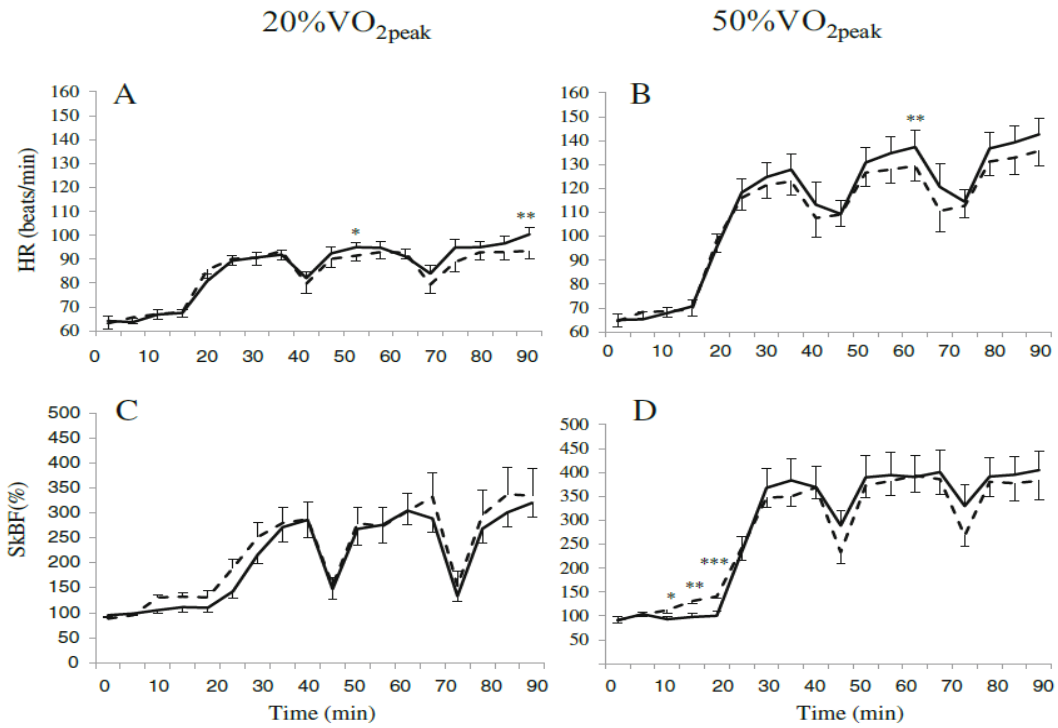
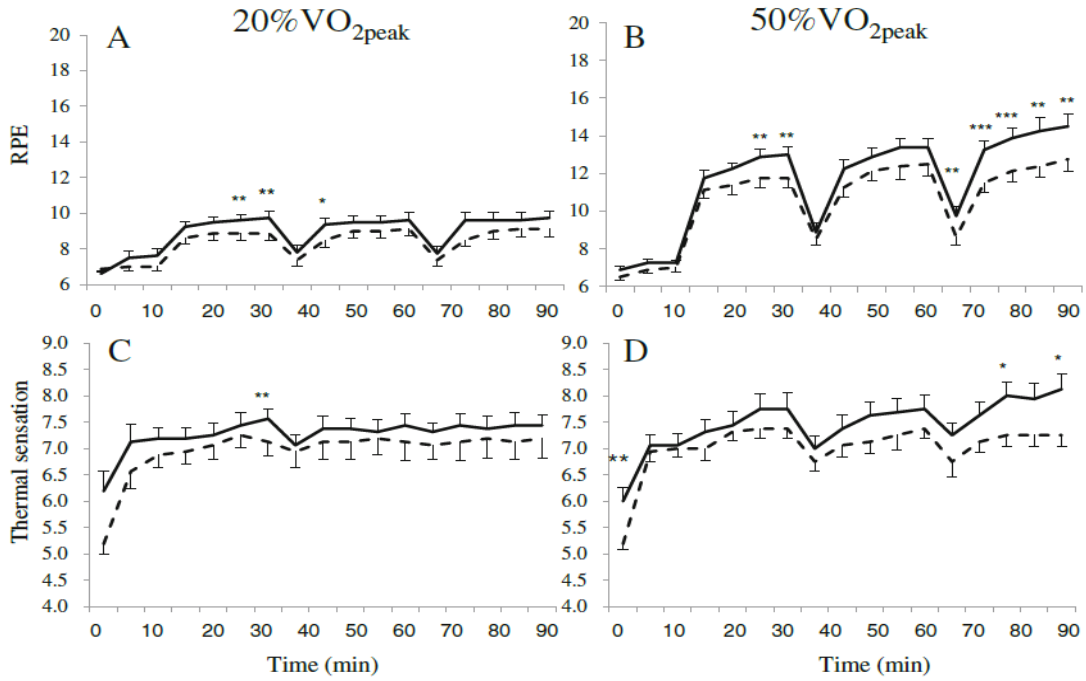


Fig. 4. Changes in the increase in esophageal temperature (ΔTes, A and B), mean skin temperature($\bar{T}$sk, C and D), and increase in mean body temperature (Δ$\bar{T}$b, E and F) during light (20 % VO_{2peak} left panels) and moderate (50 % VO_{2peak}, right panels) exercise while wearing common white sportswear (WS, solid lines) or swimming pants(SP, dotted lines)



＊, p<0.05; ＊＊, p<0.01; ＊＊＊, p<0.001

Fig. 5. Changes in heart rate (HR, A and B) and skin blood flow (SkBF, C and D) every 5 min during light(20 % VO2peak, left panels) and moderate (50 % VO2peak, right panels) exercise while wearing common WS (solid lines) or SP (dotted lines)



＊, p<0.05; ＊＊, p<0.01; ＊＊＊, p<0.001

Fig. 6. Changes in the rate of perceived exertion (RPE, A and B) and thermal sensation (C and D) every 5 min during light (20 %VO_{2peak}, left panels) and moderate (50 %VO_{2peak}, right panels) exercise while wearing common WS(solid lines) or SP (dotted lines)

Table 1. Comparison of heat storage (W) during rest and exercise.

	Condition	Rest 0–20 min	Exercise 20–90 min
20 %VO_{2peak}	SP	43.6±9.8 a,c	16.7±3.2
	WS	24.9±5.6	16.9±4.1
50 %VO_{2peak}	SP	44.0±5.5 a	36.9±8.8 b
	WS	24.9±5.8	48.7±7.0 a,b

Different lower case letters a, b and c indicate significant differences ($P < 0.05$) between SP and WS, 50 % and 20 % and Rest and Exercise, respectively.

WS, White sportswear; SP, swimming pants

第３章　WBGT28℃以上の輻射環境下における四肢部露出の有無が運動時の温熱ストレスに与える影響

３．１　目的

第 2 章では，WBGT28℃以上の輻射・有風下において，軽い運動ではポリエステル・綿混紡のスポーツユニフォームを着用した場合の温熱ストレスはセミヌード状態と同じであるが，中程度の運動では，スポーツユニフォーム着用条件がセミヌード状態よりも生理的・心理的温熱ストレスを高めることが示唆された．

一般的なスポーツユニフォームの多くは体幹部を衣服で覆われているため，四肢部露出の有無(半袖・半ズボンと長袖・長ズボンの違い)が夏季運動時の熱放散に関与して温熱ストレスの程度を決定する重要な要因と考えられる．そこで第３章では，四肢部露出の有無が運動時の温熱ストレスに与える影響を明らかにすることを目的とし、軽運動時では四肢部を衣服で覆うことにより温熱ストレスを軽減できる可能性を実験仮説として設定した．この仮説を検証するために，太陽輻射を再現した実験室内で，低・中程度運動における四肢部露出の有無が体温調節反応に与える影響を明らかにすることを目的とした．

３．２　実験方法

３．２．１　被験者

健康な男子大学生 7 名を被験者とした．身体的特徴は，年齢 24.0±1.7 歳，身長 174.6±5.5cm であった．また，実験を開始するに際し，全被験者に対し，研究の目的，方法，実験参加により期待される利益と起こりうる危険性や不利益及びプライバシー保護についての十分な説明を実施して書面による同意を得た上で実施した．また，本研究は所属大学の「ヒトを対象とする研究倫理審査委員会」による審査・承認を受けて実施した．

３．２．２実験環境

中井たち (1991)の報告によると，夏の屋外グラウンドでは乾球温度が 30℃の場合，太陽輻射に暴露された黒球温度はおよそ 40℃に達する．本研究では，実験室を乾球温度 30℃，湿球温度 25℃（相対湿度 65%）に設定し，第 2 章の方法に準じて予備実験により被験者周辺の黒球温度が 40℃になるように高さを変えた２基のナイター用照明（PAR-64-100-1500 NSP;RDS，東京，出力 1.5kw）を使用し，光の中心軸を左右２軸に分けることで，光が全身均一に当るように設置した．詳細な位置は，被験者の左前方（距離：3.1m　高さ：1.25m）及び上部右前方（距離：3.1m　高さ：2.15m）とした．ただし，被験者保護の観点から頭部の熱負荷が少し低くなるように配置した．本研究のすべての実験条件（着衣 2 条件×運動強度 2 条件×7 名=28 回）における平均環境温度は，乾球温度 30.1±0.2℃，湿球温度 25.0±0.7℃，黒球温度 40.7±0.7℃，WBGT は 28.3±0.1℃であった．なお，WBGT は 0.7 湿球温度＋0.2 黒球温度＋0.1 乾球温度（Yaglou and Minard, 1957）により算出した．

３．２．３　実験手順

Fig. 7 に実験時に用いた２種類の衣服を示す. 着衣条件として, 長袖・長ズボン着用（long, 以下 L 条件）は白色長袖シャツ（asics 社製　XA6046）と長ズボン(asics 社製 XGT804), 袖なし・半ズボン（short，以下 S 条件）は白色袖無シャツ（asics 社製　XB6400）とハーフパンツ（asics 社製　XAT216）を用いた．両条件共に衣服の素材は同一（シャツ=綿 55%・ポリエステル 45%; パンツ=ポリエステル 100%）で白色を使用した．運動負荷強度の決定については，まずリカンベント式自転車エルゴメーター(EC-3600，CAT EYE，Osaka Japan)を用いた漸増負荷法により最大酸素摂取量（Peak oxygen uptake, VO_{2peak}）の測定を行った. まず 1 kp の負荷にて毎分 60 回転でペダルを 4 分間漕ぎ, 4 分毎に 1kp ずつ 3kp まで増加, その後は 1 分毎に 0.25kp ずつ負荷を漸増し, 疲労困憊に至るまで運動を行った. その間，呼気ガス分析器(VISE MEDICAL 社製 MET－900)を用い呼気に含まれる酸素及び二酸化炭素濃度を分析し，各負荷での運動時における酸素摂取量を算出した．この測定によって得られた被験者の VO_{2peak} は 45.7±4.0ml/kg であった．軽度（20%）及び中程度負荷（50%）の決定については，VO_{2peak} 出現時の負荷を 100%とし，負荷に対する酸素摂取量から回帰直線を求め，安静時の酸素摂取量を 0%として，20%及び 50%負荷（kp）を算出した．以上の着衣条件(S と L)，負荷強度(20%と 50%)の各条件を組み合わせた 4 条件で実施した.

実験は Fig.8 に示したように 30 分以上の椅座位安静の後に図中 0 分目より安静時の測定を開始し，5 分後より運動終了まで照明を照射した．運動は 20 分間の安静時データを得た後、リカベント式自転車エルゴメーターを用い 20 分間の自転車漕ぎ運動を 5 分間の休憩を挟んで 3 回（Exercise1，2，3，　合計 60 分間）実施した．なお，水分補給による体温上昇の抑制を削除するために実験中は水分補給を行わなかった.

３．２．４　測定項目と測定方法

測定項目は, 食道温（Tes）, および前額部（Forehead）, 胸部（Chest），腹部（ Abdomen），上腕（Upper arm），前腕（Forearm），大腿部（Thigh），下腿部（Calf）の皮膚温，衣服内温・湿度（Tc ・Hc）, 心拍数（Heart rate，HR），主観的運動強度（Rating of Perceived Exertion，RPE），温冷感，総発汗量とした．また平均皮膚温（$\bar{T}sk$）は次式から計算した.

$\bar{T}sk$=0.21×Forehead+0.21×Chest+0.17×Abdomen+0.21×Upperarm+0.06×Forearm+0.15×Thigh+0.08×Calf（Nadel et al., 1973）

また$\bar{T}sk$ と Tes から平均体温($\bar{T}b$) を以下の式より算出した.

$\bar{T}b$=0.9×Tes＋0.1×$\bar{T}sk$　（Gagge and Nishi, 1977）.

さらに$\bar{T}b$ の上昇度（Δ$\bar{T}b$）より貯熱量を以下の式より算出した.

貯熱量=体重×Δ$\bar{T}b$×3, 474×時間（秒）$^{-1}$W（Nielsen, 1990）

Tes 及び$\bar{T}sk$ の測定は熱電対を用い，さらに Tes は Mekjavic et al.（1990)の推定式から

鼻腔から挿入する長さを決定して測定した. HR は心拍動の送信機（日本光電社製 ZB-811P）を被験者に装着し，ベットサイドモニター（日本光電社製 BSM-7201）を用いたテレメーター方式により連続測定した. RPE の測定は，小野寺と宮下(1976)により日本語表記された Borg 式主観的運動強度を，また温冷感の測定は 1（非常に寒い）から 9（非常に暑い）までの 9 段階で作成された温冷感指標(Young et al.，1987)を日本語に訳したスケールを用いて行った．衣服内温度および衣服内湿度の測定には，サーモレコーダ（ESPEC　MIC 社製　THERMO RECORDER RT-12）を腹部に装着して測定した．総発汗量は，実験開始前後に全裸体状態で最小表示 10g の体重計（AND 社製　FW-100K）を用いて計測し，実験前後の差から Mitchell et al. (1972)の推定式を用いて呼気による水分損失量を除いて算出した．　Tes，$\bar{T}$sk，HR は，30 秒毎にコンピュータ（使用ソフト：DASYLab 6．0）にて記録し，RPE と温冷感については，安静開始時（０分目）と安静 10 分目、および運動開始直後(２０分目)から 5 分毎に表を被験者に提示し記録した．衣服内温度および衣服内湿度は 5 分毎にサーモレコーダで記録した．

３．２．５　統計的方法

実験にて得られたすべての測定値は，平均値±標準誤差で示した．また，着衣条件間の比較は，まず 2 要因の反復測定分散分析（Two way repeated measures　ANOVA）を行い，有意な交互作用が認められた場合，主効果の検定は Bonferroni の多重比較検定を用いた．発汗量の比較は対応のある t 検定を行い，いずれも危険率は 5%水準とした．

３．３　実験結果

Fig．9 に 20%時及び 50%時における Tes の経時変化と Tes の安静開始時からの変化量(ΔTes)を示した．20%時および 50%時共に Tes は運動開始より上昇したが，L 条件と S 条件との間に顕著な差は認められなかった．また 20%時の ΔTes は L 条件が S 条件に比べて低い傾向を示したが有意差は認められず，50%時では両条件共に同様の傾向を示した．

Fig．10 に 20%時及び 50%時における$\bar{T}$sk の経時変化と安静開始時からの変化量(Δ$\bar{T}$sk)を示した．$\bar{T}$sk は照明点灯直後から上昇するが，両運動時における S 条件と L 条件との顕著な差は認められなかった．しかし Δ$\bar{T}$sk は L 条件が S 条件に比べて両運動時共に有意（$p<0.05$）に低値を示した．

Table ２，３に安静開始時（0 分）及び 3 回の運動終了時(40 分，65 分，90 分)における各部位の皮膚温の絶対値と安静開始時からの変化量（Δ）を示した．Table 1 に示した 20%時について，四肢部近辺の非露出部位である Chest は安静時に L 条件が S 条件と比べて有意($p<0.05$)に高値を示したが，運動時では L 条件の Δ Chest が Exercise 2 と Exercise 3 において，S 条件に比べて有意（$p<0.05$～0.01）に低値を示した．L 条件の Forearm は S 条件に比べて安静時では有意($p<0.01$)に高値を示したが，運動時では L 条件の Δ Forearm が S 条件に比べて Exercise 2 及び Exercise 3 において有意($p<0.05$)に低値を示した．さら

に Calf についても L 条件は S 条件に比べて安静時に有意（p＜0.05）に高値を示したが，運動時では L 条件の ΔCalf が S 条件に比べて，Exercise 1～3 に有意(p＜0.01～0.001)に低値を示した．

Table 2 に 50 %時の各部位の皮膚温変動を示した．Forearm は安静時に L 条件が S 条件に比べて有意(p＜0.05)に高値を示したが，ΔUpperarm は Exercise 1～3 において，L 条件は S 条件に比べて有意(p＜0.05～0.01)に低値を示した．Calf は，安静時に L 条件が有意（p＜0.001）に高値を示したが，Exercise 1～3 においては L 条件が有意(p＜0.01～0.001)に低値を示した．さらに L 条件の ΔCalf は S 条件と比べて Exercise 1～3 において有意(p＜0.01～0.001)に低値を示した．

Fig.11 に 20%及び 50%時における $\bar{T}b$ の経時変化と安静開始時からの変化量($\Delta\bar{T}b$)を示した．$\bar{T}b$ は両運動時ともに運動開始時から上昇するが L 条件と S 条件との間に顕著な差は認められず，20%時における $\Delta\bar{T}b$ は S 条件が L 条件と比べて高い傾向を示したが有意差は認められなかった．また，貯熱量は 20%時の L 条件（36.1±4.1W）が S 条件（39.8±3.9W）に比べて低い傾向を示したが有意差は認められず，50%時の L 条件（68.0±4.9W）と S 条件（68.9±5.3W）は類似していた．

Fig.12 に 20%時及び 50%時における HR，RPE，温冷感の経時変化を示した．20%時における HR は L 条件が S 条件に比べて有意（p＜0.01～0.05）に低値を示したが，50%時では有意差が認められなかった． RPE は両運動時共に L 条件と S 条件との間の顕著な違いは認められなかった．温冷感は 20%時の Exercise 1 開始時(20 分)と開始 5 分目(25 分)に L 条件が有意（p＜0.001～0.01）に低値を示し，50%時には Exercise 1 終了時(40 分)に L 条件が有意（p＜0.05）に高値を示したが，両運動時共に Exercise3 終了時には L 条件と S 条件との間の顕著な違いは認められなかった．

Fig.13 は 20%時及び 50%時における衣服内温度および衣服内湿度の経時変化を示した．衣服内温度は照明点灯直後から上昇し，運動時には低下する傾向を示したが，両運動時ともに S 条件と L 条件との間の有意差は認められなかった．また衣服内湿度は照明点灯直後から低下し，運動時には上昇する傾向を示したが両運動時ともに S 条件と L 条件との間に有意差は認められなかった．

総発汗量について，20%時の L 条件（0.93±0.10kg）は S 条件（0.89±0.08kg）よりも多い傾向を示したが有意差は認められず，50%時の L 条件（1.34±0.13kg）と S 条件（1.36±1.13kg）は類似していた．

３．４　考察

３．４．１　体温と発汗量

本研究の衣服内温度と衣服内湿度は両条件間で同様の傾向を示したので，体幹部の衣服内環境は条件間で同様であったと考えられる．しかし四肢部を着衣で覆った部位の放熱量は四肢を露出した部位より少ないので，L 条件における照明点灯前の四肢部（Forearm，

Calf）や四肢部近辺部位（Chest）の皮膚温は，四肢部を露出したS条件よりも高くなったと考えられる（Table 1）．一方，照明点灯後ではL条件は輻射熱を直接皮膚に受けないので四肢部の皮膚温上昇が抑制され，結果的にL条件の$\Delta\bar{T}sk$はS条件に比べて低くなったと考えられる．

核心温の指標であるTesは着衣条件間に有意な差は認められず，総発汗量も両条件間で類似していた．$\bar{T}b$や$\Delta\bar{T}b$および貯熱量にも条件間による顕著な違いは認められなかった．したがって，S条件では四肢露出部からの放熱は増加するが，その部位は輻射熱を直接皮膚へ受熱するため，受熱量＋産熱量−放熱量によって決定される貯熱量は四肢部を衣服で覆ったL条件と同等となり，L条件とS条件による核心温の差は見られなかったと考えられる．このように，WBGT28℃以上の輻射環境下による軽・中程度運動時の核心温や体温調節反応には，四肢部露出の有無による顕著な差異は認められないことが明らかになった．

新矢たち（2004）によると，無風・高温環境下運動時において，全身を覆う野球ユニフォームは半袖・半ズボンのサッカーユニーフォームに比べて深部体温や発汗量および心拍数が高く，その程度は皮膚温上昇に起因すると述べている．しかし，これは太陽輻射がない実験室で実施された研究であり，野球とサッカーユニーフォームの素材も異なるため，本研究の実験結果と一様に比較検討することができない．

衣服の素材について，Gavin et al.（2001）は環境温30℃の室内において綿素材とポリエステル素材の衣服で運動を行った結果，直腸温，$\bar{T}sk$，HRは衣服の素材による差異は認められなかったと報告している．また，Kwon et al.(1998)は環境温30℃，相対湿度50%の室内にて綿，ポリエステル素材の衣服で運動を行った結果，綿素材がポリエステル素材に比べて汗の吸収や保持は多かったものの，Gavin et al.(2001)と同様に直腸温，$\bar{T}sk$に顕著な差は認められなかった．しかし1.5m/秒の気流を送風すると，綿素材着用時の$\bar{T}sk$，$\bar{T}b$はポリエステル素材よりも有意に低温となり，これは綿素材に含まれた水分の蒸発により身体が冷却され，放熱効果が発揮された結果であると報告している．これらのことから，有風環境下では着衣素材の影響を大きく受けるが，無風・暑熱環境下では素材の違いによる温熱ストレスの影響は小さいと思われる．本研究のL条件とS条件は同様の素材から作成された衣服を用いたため四肢部露出の差異を検討するには問題は無いが，汗の吸収や保持機能が高い綿素材を多く含む衣服を着用して有風下で四肢部露出の差異を検討した場合には，本研究と異なった結果が出現する可能性は否定できない．

３．４．２　主観的感覚（温冷感，RPE）とHR

酒井と間瀬（1991）は，運動における着衣の主観的感覚について実験を行い，短袖スポーツユニフォームに比べて長袖スポーツユニフォームでは，不快感が増し，濡れた感覚や着衣の湿気を強く感じるようになり，運動における汗湿気は衣服内湿度を高め，体温上昇による不快感は感情を刺激すると考察している．本研究の衣服内温度と衣服内湿度は着衣条件間に顕著な差異が認められなかったので，四肢部の温熱感覚のみが温冷感，RPEを変化

させる主要因と考えられる．　本研究における 20%時の温冷感は照明点灯後の Exercise1 前半に S 条件が L 条件より有意に高く，さらに 20%時の HR は S 条件が L 条件よりも有意に高値を示した．　20%時では運動による産熱量が 50%時よりも少ないので、S 条件では四肢部に直接受ける輻射熱が皮膚温を上昇させて Exercise 1 前半の温熱感覚を上昇させたと考えられる．また四肢に受ける輻射熱が不快感を上昇させて交感神経を刺激し，HR の上昇を導いた可能性が考えられる．さらに S 条件の ΔTes は L 条件よりも高い傾向を示したことから，わずかな核心温上昇が HR の上昇を導いた可能性も考えられる．しかし，50%時では 20%時とは逆に L 条件の温冷感が S 条件よりも Exercise 1 終了時に高値を示した．50%時の L 条件では，四肢を覆うことによって 20%時よりも大きな産熱量を十分に放熱出来ないので，一時的に L 条件の温熱感覚が S 条件よりも高まった可能性が考えられる．しかし，運動中盤（Exercise 2）や運動後半（Exercise 3）では発汗量や皮膚血流などの熱放散が両条件共に上昇したと考えられるので，RPE や温冷感には 20%時と 50%時との間に顕著な差異が認められなかったと思われる．したがって，WBGT28℃以上の無風・太陽輻射環境下運動時における主観的感覚は，運動初期においては四肢露出の有無や運動強度により異なるが，熱放散反応が活発化する運動中盤から後半では着衣条件による顕著な違いは認められないことが明らかになった．

有風・輻射環境下において負荷やプロトコルなど同様の方法で実施した第 2 章の実験において，20%時における L 条件は水泳パンツのみの半裸体条件に比べて ΔTes や主観的感覚には顕著な差が認められなかった．しかし 50%時では L 条件の ΔTes は高値傾向を示し，RPE や温冷感，HR は有意に高値を示したことから，有風・輻射環境下における中程度運動では，L 条件の温熱ストレスが高まると報告している．第 2 章の実験における運動終了時の体温上昇は，本研究の値と比較して ΔTes は約 0.5℃，$\Delta\bar{T}sk$ は約 1.0℃低値であった．これは身体に直接風を受けることにより L 条件においても放熱量が増加した結果と考えられる．また，本研究の S 条件と L 条件における露出面積の差異は，半裸体条件と L 条件における差異よりも小さく，さらに S 条件における貯熱量が L 条件と同等になったため，本研究では第 2 章のような着衣条件による主観的感覚の顕著な差異が認められなかったと考えられる．

通常，衣服の着用は裸体に比較して皮膚表面に受ける紫外線を軽減できる．また白色の着衣は黒色に比べて太陽輻射による受熱量（Clark and Cena, 1978）や生理的ストレス(Nielsen, 1990)を軽減できる．さらにポリエステルと綿で構成されたスポーツユニフォームは通気性と吸湿性に優れている（Hassan et al., 2012）．したがって，本研究の環境条件のような夏季スポーツ・運動時において，特に軽運動時の温熱ストレスを軽減するために，ポリエステルと綿で構成された長袖・長ズボンの白色スポーツユニフォームの着用が勧められる．

３．５　まとめ

本研究ではWBGT28℃以上の輻射環境下において，四肢部露出の有無が運動時の温熱ストレスに与える影響を明らかにすることを目的として実験を実施した．その結果，20%時及び 50%時における体温調節反応や，運動後半の主観的感覚は四肢部露出の有無による顕著な差異は認められなかった．しかし，四肢部を衣服で覆った場合，両運動時の上腕・前腕・下腿の皮膚温上昇度や 20%時の心拍数は四肢部を露出した場合よりも低くかった．したがって，WBGT28℃以上の輻射環境下における中程度運動時の温熱ストレスは四肢部露出の有無による顕著な差異は認められないが，軽運動時には四肢部を衣服で覆うことにより皮膚温や心拍数の上昇を抑制し，温熱ストレスを軽減できる可能性が示された．

参考文献

Clark JA, Cena K (1978) Net radiation and heat transfer though clothing: the effects of insulation and color. Ergonomics 21：691-696

Gagge AP, Nishi Y (1977) Heat exchange between human skin surface and themal environment. In：Lee DHK, Falk HL, and Murphy SD (ed) Handbook of physiology, Reactions to Environmental Agents, Bethesda MD Am Physiol Soc pp. 69-92

Gavin TP, Babington JP, Hams CA, Ardelt ME, Tanner DA, Stager JM (2001) Clothing fabric does not affect thermoregulation during exercise in moderate heat. Med Sci Sports Exer 33: 2124-2130

Hassan M, Qashqary K, Hassan HA, Shady E, Alansary M (2012) Influence of sports fabric propenties on the health and performance. Fibres Text Eastem Eur 20：82-88

Kwon A, Kato M, Kawamura H, Yanai Y, Tokura H (1998) Physiological significant of hydrophilic textile materials during intemitent exercise in human under the influence of warm ambicent temperature with and without wind. Eur J Appl Physiol 78: 487-493

Mekjavic IB, Rempel ME (1990) Determination of esophageal probe insertion length based on standing and sitting height. J Appl Physiol 69: 376-379

Mitchell JW, Nadel ER, Stolwijk JAJ (1972) Respiratory weight loss during exercise. J Appl Physiol 32: 474-476

Nadel ER, Michell JW, Stolwijk JAJ (1973) Differential thermal sensitivity in the human skin. Pfugers Arch 34: 71-76

中井誠一，寄本明，岡本直輝，森本武利（1991）運動時の暑熱障害発生と温熱環境の関係―グラウンドの環境温度の観察から―. 臨床スポーツ医学 8:41-45

Nielsen B (1990) Solar heat load: heat balance during exercise in clothed subjects. Eur J Appl Physiol 60: 15-25

小野寺孝一, 宮下充正（1976）全身持久性運動における主観的運動強度と客観的強度の対応性：Rating of Perceived Exertion の観点から.　体育學研究 21：191-203

酒井清子, 間瀬清美（1991）温熱生理学の基礎的研究―被服形態の差異による着衣快適性について－.　名古屋女子大学紀要 37：21－29

新矢博美，芳田哲也，　常岡秀行，中井誠一，伊藤孝（2004）スポーツユニフォームの違いが高温環境下運動時の体温調節反応に及ぼす影響.　体力科学 53：347-356

Yaglou CP, Minard CD (1957) Control of heat casualties at military training.　Am Med Ass Archs Ind Health 6: 302-316

Young AJ,　Sawka MN,　Epstein Y, Decristofano B, Panddolf KB (1987) Cooling different body surfaces during upper and lower body exercise.　J Appl Physiol 63: 1218-1223

Long

Short

Fig. 7. Two clothing (long or short) conditions in the experiment.

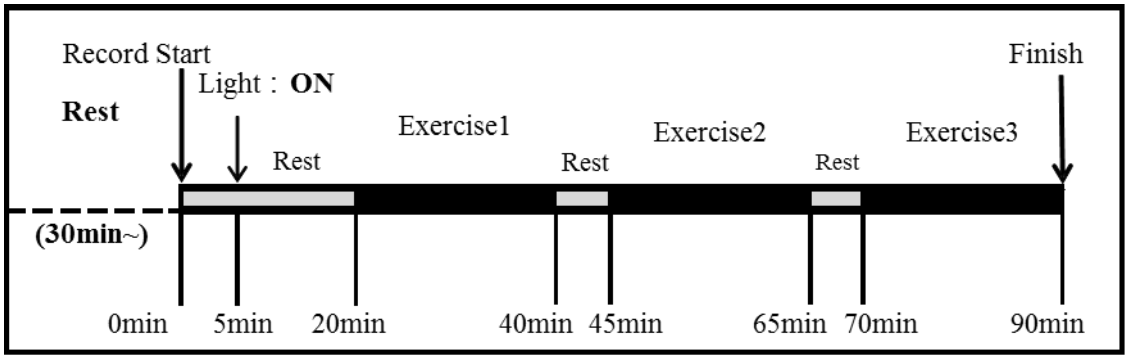


Fig. 8. Protocol of experiment.

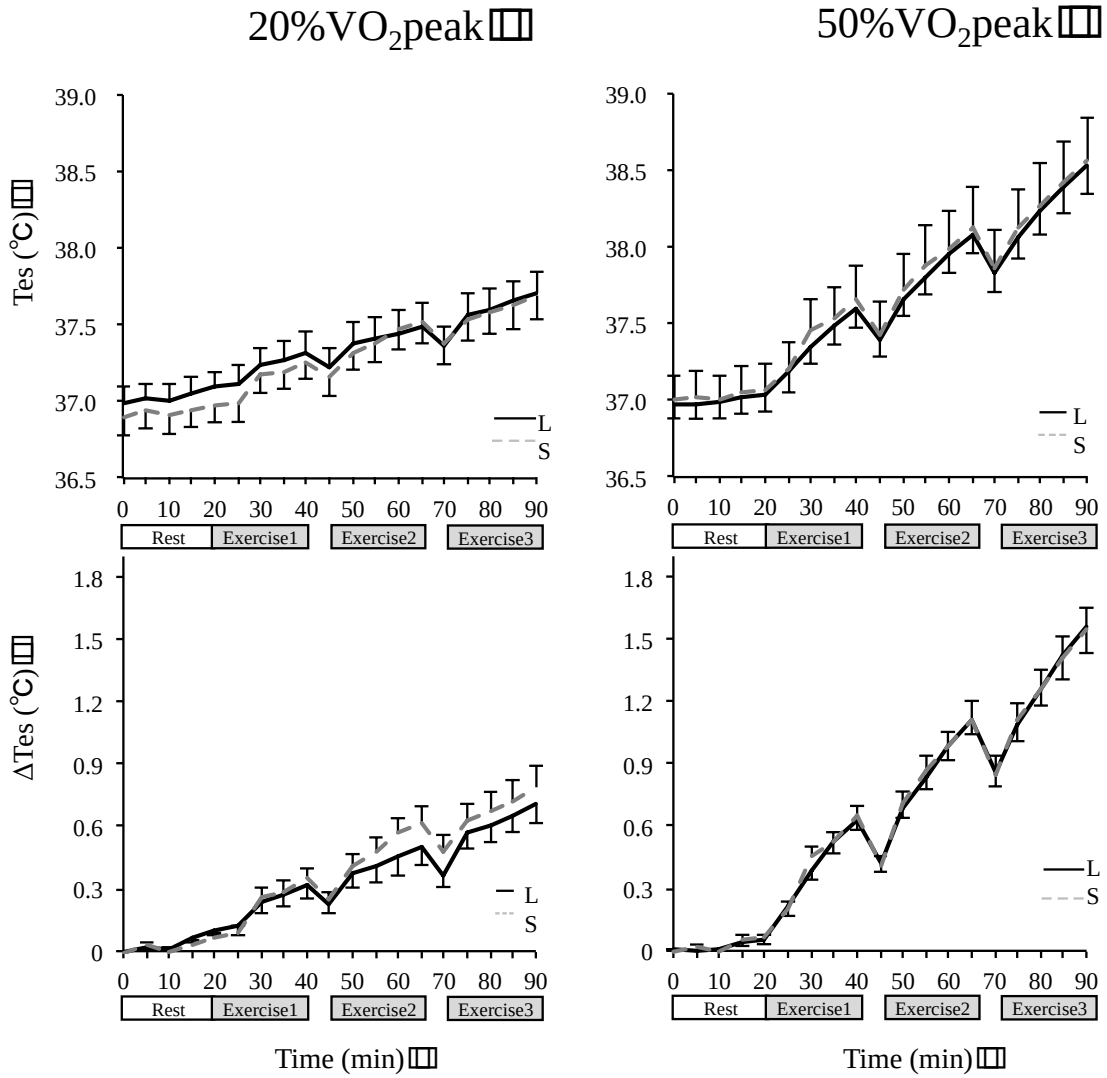


Fig. 9. Comparison of the esophageal temperatures (Tes, upper graph) and the increase in Tes (ΔTes, lower graph) between long (L) and short (S) condition during low (left graph) or middle (right graph) intensity of exercise.

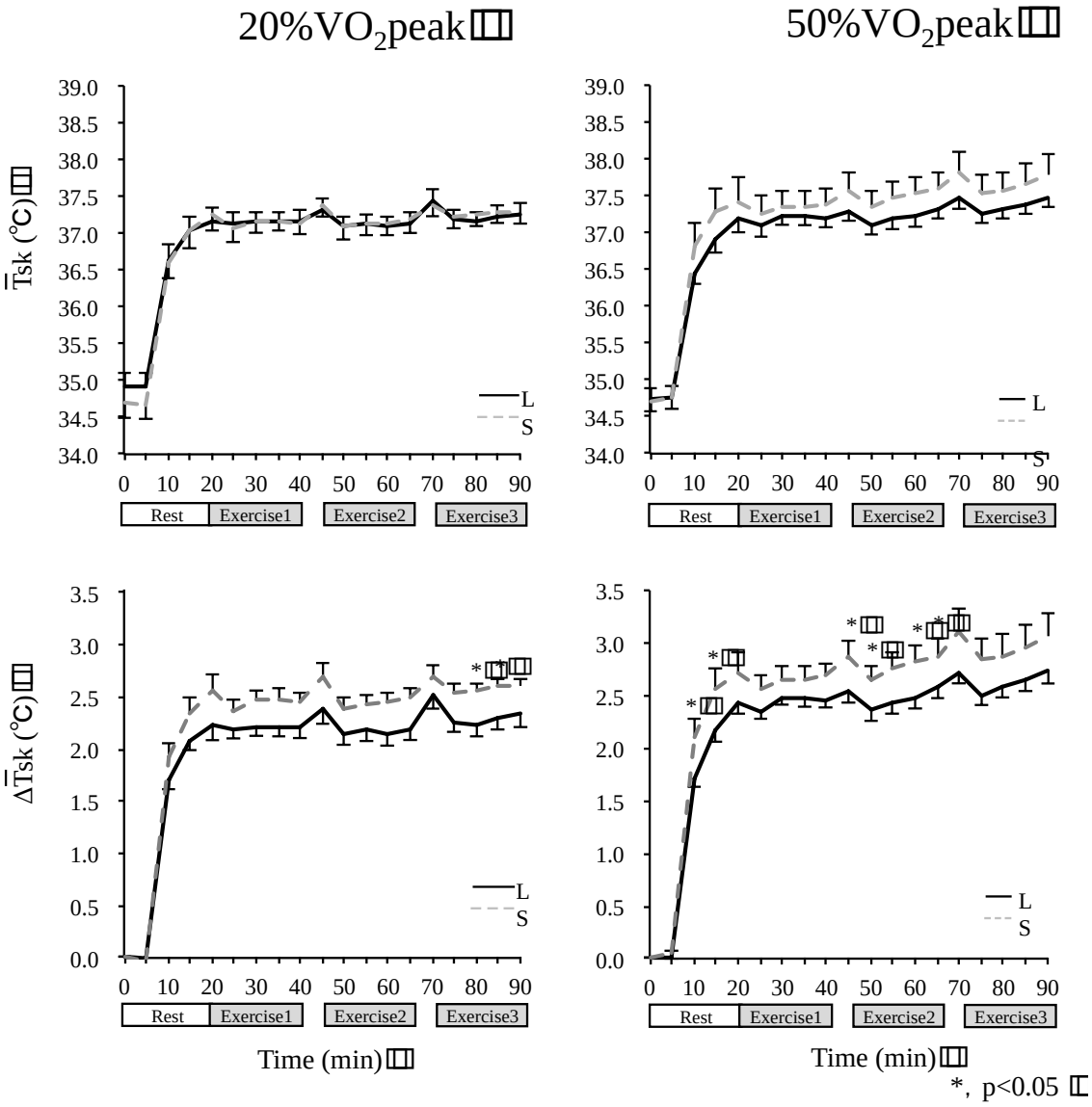


Fig. 10. Comparison of the mean skin temperatures ($\bar{T}$sk, upper graph) and the increase in $\bar{T}$sk ($\Delta\bar{T}$sk, lower graph) between long (L) and short (S) condition during low (left graph) or middle (right graph) intensity of exercise.

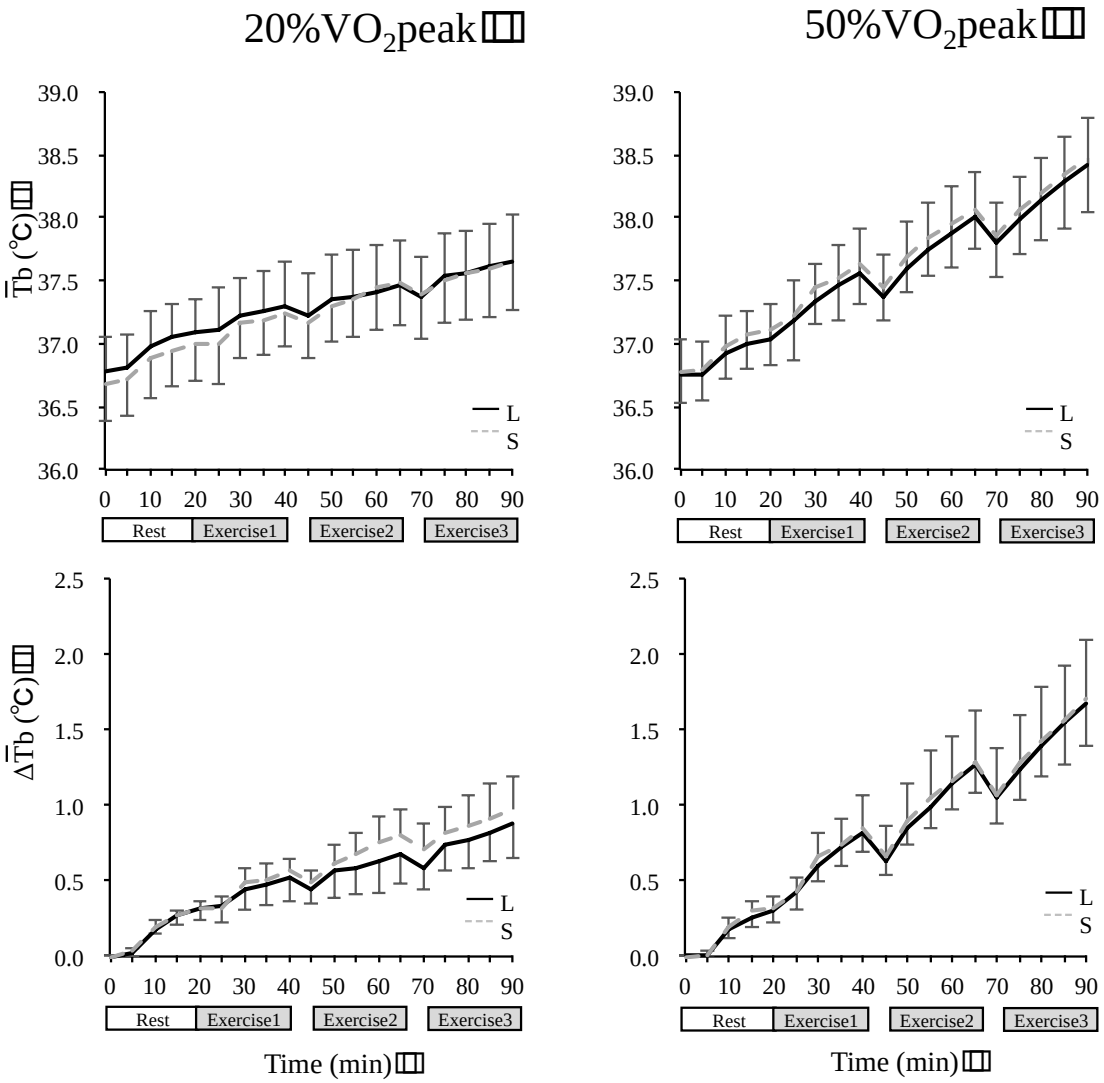


Fig. 11. Comparison of the mean body temperatures ($\bar{T}b$, upper graph) and the increase in $\bar{T}b$ ($\Delta\bar{T}b$, lower graph) between long (L) and short (S) condition during low (left graph) or middle (right graph) intensity of exercise.

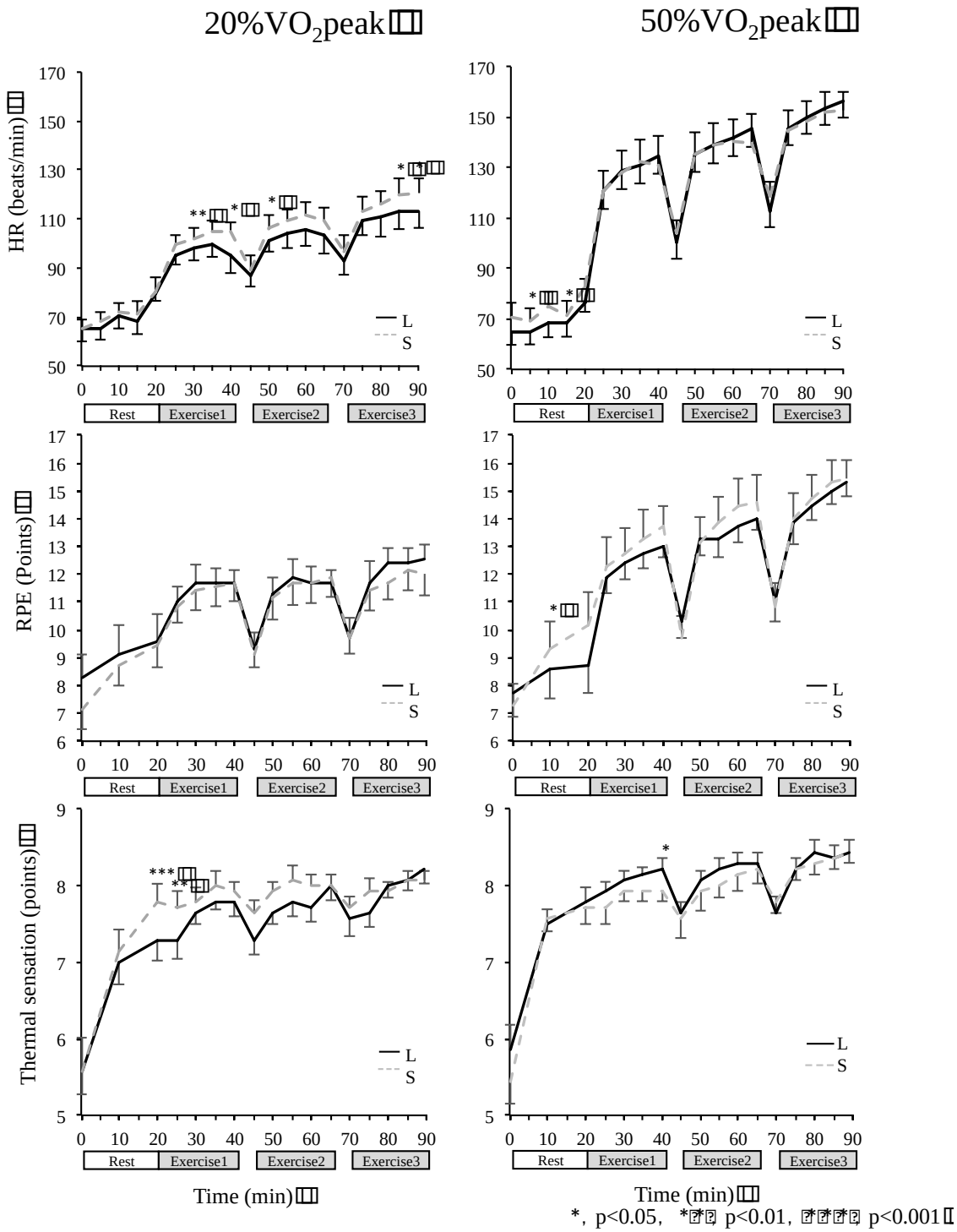


Fig. 12. Comparison of the heart rate (HR, upper graph), rating of perceived exertion (RPE, middle graph), and thermal sensation (lower graph) between long (L) and short (S) condition during low (left graph) or middle (right graph) intensity of exercise.

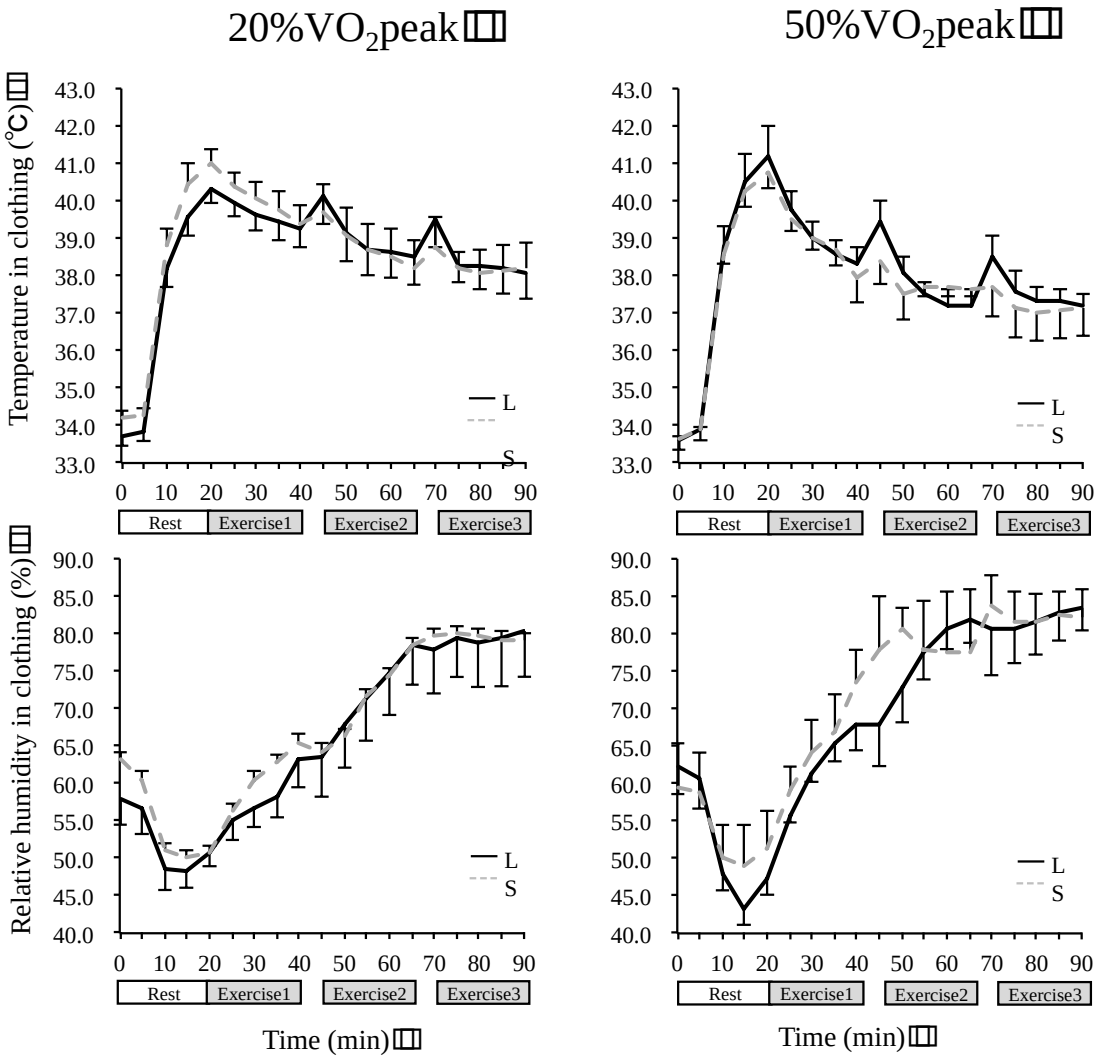


Fig. 13. Comparison of the temperatures (upper graph) and moisture (lower graph) in clothing between long (L) and short (S) condition during low (left graph) or middle (right graph) intensity of exercise.

Table 2. Comparison of the local skin temperatures between long and short clothing condition during low intensity of exercise.

Exercise load		20%							
Clothing		long				short			
Condition		Rest	Exercise-1	Exercise-2	Exercise-3	Rest	Exercise-1	Exercise-2	Exercise-3
Time(min)		0	40	65	90	0	40	65	90
Forehead	Mean	35.36	37.38	37.40	37.52	35.49	37.41	37.45	37.45
	SE	0.19	0.15	0.18	0.18	0.14	0.13	0.16	0.14
ΔForehead	Mean	0.00	2.02	2.04	2.16	0.00	1.92	1.97	1.96
	SE	0.00	0.15	0.13	0.15	0.00	0.15	0.20	0.17
Chest	Mean	34.97	37.66	37.49	37.63	34.64 *	37.61	37.46	37.66
	SE	0.24	0.22	0.21	0.23	0.33	0.21	0.22	0.25
ΔChest	Mean	0.00	2.69	2.53 *	2.67 **	0.00	2.97	2.82	3.01
	SE	0.00	0.20	0.21	0.19	0.00	0.41	0.28	0.22
Abdomen	Mean	35.30	37.64	37.46	37.69	35.13	37.19	37.09	37.17
	SE	0.21	0.14	0.29	0.28	0.24	0.28	0.34	0.35
ΔAbdomen	Mean	0.00	2.36	2.17	2.40	0.00	2.07	1.96	2.05
	SE	0.00	0.17	0.32	0.30	0.00	0.11	0.14	0.17
Upper arm	Mean	34.70	37.08	37.02	37.14	34.37	37.33	37.52	37.70
	SE	0.15	0.27	0.29	0.28	0.17	0.43	0.33	0.30
ΔUpper arm	Mean	0.00	2.38	2.32	2.44	0.00	2.96	3.15	3.33
	SE	0.00	0.23	0.25	0.25	0.00	0.37	0.31	0.31
Forearm	Mean	35.21	36.78	36.80	36.79	34.35 **	36.73	36.86	36.96
	SE	0.15	0.24	0.28	0.26	0.29	0.19	0.24	0.21
ΔForearm	Mean	0.00	1.68	1.69 *	1.69 *	0.00	2.38	2.51	2.60
	SE	0.00	0.23	0.27	0.27	0.00	0.20	0.14	0.14
Thigh	Mean	34.47	35.99	36.23	36.39	34.29	35.79	36.16	36.35
	SE	0.29	0.24	0.20	0.18	0.24	0.23	0.25	0.27
ΔThigh	Mean	0.00	1.52	1.77	1.92	0.00	1.50	1.87	2.07
	SE	0.00	0.24	0.29	0.30	0.00	0.18	0.21	0.26
Calf	Mean	33.99	36.78	36.92	37.00	33.32 *	37.65	37.57	37.55
	SE	0.24	0.21	0.20	0.28	0.29	0.31	0.35	0.35
ΔCalf	Mean	0.00	2.04 ***	2.18 ***	2.25 **	0.00	4.33	4.25	4.23
	SE	0.00	0.25	0.25	0.31	0.00	0.32	0.38	0.41

Values are Mean ± SE. *, **, and *** show significant low values ($p<0.05$, $p<0.01$, and $p<0.001$) compared at each time (0, 40, 65, and 90 min) between long and short condition.

Table 3. Comparison of the local skin temperatures between long and short clothing condition during middle intensity of exercise.

Exercise load		50%							
Clothing		long				short			
Condition		Rest	Exercise-1	Exercise-2	Exercise-3	Rest	Exercise-1	Exercise-2	Exercise-3
Time(min)		0	40	65	90	0	40	65	90
Forehead	Mean	35.23	37.36	37.76	37.96	35.46	37.59	37.90	38.15
	SE	0.19	0.19	0.22	0.24	0.18	0.20	0.23	0.26
ΔForehead	Mean	0.00	2.13	2.53	2.73	0.00	2.16	2.47	2.72
	SE	0.00	0.12	0.14	0.16	0.00	0.18	0.19	0.21
Chest	Mean	34.58	37.51	37.65	37.69	34.89	37.72	37.93	38.04
	SE	0.22	0.24	0.25	0.31	0.17	0.21	0.26	0.29
ΔChest	Mean	0.00	2.93	3.07	3.11	0.00	2.83	3.03	3.15
	SE	0.00	0.11	0.14	0.20	0.00	0.26	0.25	0.24
Abdomen	Mean	35.01	37.44	37.55	37.78	35.20	37.55	37.80	38.09
	SE	0.26	0.18	0.21	0.21	0.21	0.17	0.20	0.23
ΔAbdomen	Mean	0.00	2.44	2.54	2.77	0.00	2.35	2.60	2.89
	SE	0.00	0.17	0.23	0.21	0.00	0.24	0.25	0.28
Upper arm	Mean	34.65	37.34	37.21	37.30	34.25	37.75	37.86	38.10
	SE	0.20	0.12	0.14	0.18	0.19	0.38	0.43	0.48
ΔUpper arm	Mean	0.00	2.69 *	2.56 **	2.65 *	0.00	3.49	3.61	3.85
	SE	0.00	0.20	0.15	0.11	0.00	0.24	0.31	0.39
Forearm	Mean	35.04	36.93	36.85	37.10	34.56 *	36.82	36.88	37.07
	SE	0.13	0.20	0.22	0.24	0.21	0.40	0.42	0.41
ΔForearm	Mean	0.00	1.89	1.81	2.05	0.00	2.27	2.32	2.51
	SE	0.00	0.14	0.17	0.21	0.00	0.28	0.34	0.34
Thigh	Mean	34.39	36.20	36.34	36.60	34.20	36.17	36.13	36.22
	SE	0.21	0.15	0.19	0.26	0.31	0.34	0.39	0.43
ΔThigh	Mean	0.00	1.81	1.94	2.20	0.00	1.99	1.95	2.04
	SE	0.00	0.21	0.31	0.37	0.00	0.18	0.37	0.39
Calf	Mean	33.89	37.19 **	37.11 ***	37.24 ***	32.96 ***	37.88	38.28	38.37
	SE	0.15	0.22	0.26	0.20	0.26	0.21	0.28	0.34
ΔCalf	Mean	0.00	2.54 **	2.46 ***	2.59 ***	0.00	4.13	4.53	4.61
	SE	0.00	0.22	0.20	0.21	0.00	0.36	0.44	0.51

Values are Mean ± SE. *, **, and *** show significant low values ($p<0.05$, $p<0.01$, and $p<0.001$) compared at each time (0, 40, 65, and 90 min) between long and short condition.

第４章　総括

本論文の結果から明らかになったことは以下のとおりである．

１）実際の夏季グラウンド環境に近い暑熱環境下における輻射熱および有風条件を再現し，熱中症が多発する WBGT28℃以上の有風・輻射環境条件にて軽運動（20%VO_{2peak}）及び中程度運動(50%VO_{2peak})を実施した．その結果，安静時ではポリエステル・綿混紡のスポーツユニフォーム着用時の貯熱量はセミヌード状態よりも低値を示した．また軽運動の畜熱量はスポーツユニフォームとセミヌード条件が同じであったが，中程度運動ではスポーツユニフォーム条件が高値を示した．さらに中程度運動時の心拍数や主観的運動強度，温冷感，食道温上昇はスポーツユニフォーム条件が高値を示したが，軽運動時では着衣条件間で同様の傾向を示した．したがって WBGT28℃以上の輻射・有風下において，１）スポーツユニフォーム着用は半裸体条件に比べて安静時の貯熱量を軽減することが出来る，また，２）軽運動ではスポーツユニフォームを着た場合の温熱ストレスはセミヌード状態と同じであるが，中程度運動では，スポーツユニフォーム着用条件がセミヌード状態よりも生理的・心理的な温熱ストレスを高めることが示唆された．

２）WBGT28℃以上の無風・輻射環境条件において，四肢部の露出の有無が温熱ストレスに与える影響を調べた結果，軽・中程度運動時における体温調節反応や運動中盤以降の主観的感覚は四肢部露出の有無による顕著な差異は認められなかった．しかし，四肢部を衣服で覆った場合，軽・中程度運動時の上腕・前腕・下腿の皮膚温上昇度や軽運動時の心拍数は，四肢部を露出した場合よりも低かった．したがって，軽運動時には四肢を衣服で覆うことにより皮膚温や心拍数の上昇を抑制し，温熱ストレスを軽減できる可能性が示された．

以上，本研究の２つの実験により WBGT28℃以上の輻射環境下において，安静時や軽運動時では全身を覆うスポーツユニフォームの着用は半裸体及び半袖・半ズボンよりも温熱ストレスを軽減できる可能性を示した．したがって，紫外線から皮膚を保護するためにも，夏季の暑い日に屋外で軽い運動を実施する場合，全身を覆うスポーツユニフォームを着用することが望ましいと考えられる．このように，本研究の結果はスポーツ活動時における熱中症予防のための着衣に関する予防指針を作成する上で有用な資料となりうる．