

報 告

重症熱傷患者の運動負荷にともなう発汗・体温調節*

秦 祐子¹⁾ 林 隆宏¹⁾ 宮本隆志¹⁾
 辛島修二¹⁾ 山口昌夫¹⁾ 花山耕三¹⁾
 永坂鉄夫²⁾ 桜田惣太郎²⁾ 田辺 実²⁾

要旨

全身の広範囲な皮膚汗腺破壊をともなう重症熱傷患者の、運動時の発汗能に着目し、体温調節能力と運動耐久性について検討した。Burn Index 70 以上で日常生活動作の自立した2症例を対象に、自転車エルゴメーターによる運動負荷試験をおこない、呼気ガス分析・発汗量・深部体温・皮膚温・皮膚血流量・心拍数を経時的に測定した。その結果、両者とも予想最大酸素摂取量に対する実測の酸素摂取量のピーク値の割合は低く、運動耐久性は低下していると推察された。一方、Ⅲ度熱傷値皮膚部からの発汗は認められなかったが、運動中の体温の恒常性はかなり保たれたものであった。したがって、熱傷により広範囲に皮膚汗腺破壊が生じて、運動中の体温調節能力は比較的維持されると言え、この汗腺破壊が、運動遂行能力の制限因子となるとは考え難いことが示唆された。

キーワード 熱傷, 体温調節, 運動耐久性

はじめに

近年、重症熱傷の救命率が上昇するにつれ、受傷後の生活の質（以下、QOL）が重視され¹⁾、熱傷のリハビリテーション（以下、リハ）は、より多角化したアプローチを要求されてきている。従来より熱傷のリハとしては、二次感染の予防や、関節可動域の向上、廃用性筋萎縮の防止・改善等の急性期のアプローチが強調されているが、

一応の日常生活動作（以下、ADL）を獲得した症例であれば、運動耐久性の維持・向上が、QOLの面でも重要と考える。しかし、熱傷患者の運動耐久性についての報告は少なく²⁾、またそれらを、運動中の発汗能や体温調節の観点から研究したものはほとんどない。その理由は、汗腺の破壊が生じる程の深達性の熱傷を、身体の大範囲にうけた重症熱傷患者の救命率の低さと、極めて不良な予後のため、現在まで究明できずにいたことにあると思われる。

言うまでもなく、ヒトにおける最大の放熱手段は発汗であるが、この発汗の量が減少する全身性の無汗症や減汗症などが生じると、体温調節機構が障害され、高度の消耗疲労・熱感・頭痛・呼吸速迫・はきけ・振戦等の全身症状をみるようになり活動能力は低下する³⁾⁴⁾。疲労困憊となるまでの激しい運動でも、一過性のうつ熱状態を呈することもある⁵⁾。いずれにせよヒトの高体温の限界は、普通約42°C⁵⁻⁷⁾と言われ、それ以上の体温では細胞の非可逆的変化をまねき、死に至らしめることになりかねない。運動中最大に発汗が起こっていても、生体の

* Control of Thermoregulatory Sweating during Exercise in Patients with Severe Burns

¹⁾ リハビリテーション加賀八幡温泉病院
 (現連絡先: 田島(秦)祐子 〒923-12 石川県能美郡辰口町下開発ル11-1 辰口芳珠記念病院リハビリテーションセンター)

Yuko Hata, RPT, Takahiro Hayashi, RPT, Takashi Miyamoto, RPT, Shuji Karashima, RPT, Masao Yamaguchi, MD, Kozo Hanayama, MD: Rehabilitation Kaga-Yawata Onsen Hospital

²⁾ 金沢大学医学部第一生理
 Tetsuo Nagasaka, MD, Sohtaro Sakurada, MD, Minoru Tanabe, Investigator: The First Dept. of Physiology, School of Medicine, Kanazawa University
 (受付日 1993年6月10日/受理日 1995年2月7日)

放熱速度には限界があることから、体温の異常な上昇が運動遂行能力の阻害因子となることは、充分考えられる。

これらのことよりわれわれは、広範囲な皮膚汗腺破壊をともなう重症熱傷患者の運動耐久性は、運動中の発汗量減少による体温調節不全によって制限される可能性が高いと推察した。今回、Burn Index⁸⁾ (以下、B.I.) 70以上の重症熱傷にもかかわらず、ADLの自立に至った症例の理学療法を経験する機会を得たので、この2症例を対象に、運動負荷試験をおこなった。そして、発汗量減少による体温調節不全の有無と、それによる運動遂行能力の制限について検討した。

対象と方法

1. 対象

症例① K・T. 47歳。女性。身長154 cm, 体重51 kg。1989年9月10日、自動車事故にて、Ⅱ度熱傷10%、Ⅲ度熱傷65%の熱傷を受け、K病院熱傷センターに搬入された。熱傷重症度の指標であるB.I.は、 $B.I. = \text{Ⅲ度熱傷}(\%) + \text{Ⅱ度熱傷}(\%) \times 1/2$ ⁸⁾の計算式より算出しB.I. 70であった。気道熱傷はなかった。受傷時の熱傷部位と深度を、図1に示す。受傷後三日目より創縁切除術(以下、debridement)と、植皮術(mesh graft他)がおこなわれ、12月19日よりリハが開始された。受傷後約1年でADLは完全に自立し、Y病院転院となった。1991年5月8日退院。その後、自動車を運転し外来通院にてリハを受けている。この間も、関節可動域改善と整容目的の植皮術がおこなわれ、受傷

からの植皮術の合計は19回であった。

症例② T・Y. 45歳。男性。身長172 cm, 体重68 kg。1989年10月10日、工作中誤って灯油を被り身体に引火し、B.I. 73.5 (Ⅱ度熱傷3%、Ⅲ度熱傷72%)の熱傷を受け(図2)、K病院熱傷センターに搬入された。気道熱傷はなかった。1990年8月29日までに、合計25回のdebridementと、植皮術(mesh graft他)を受け、12月4日Y病院へ転院した。転院時、起き上がり全介助、歩行中等度～重度介助レベルであったが、1991年8月には屋外歩行自立となり、同年11月3日自宅に退院した。退院時のADLは、健常者に比較し時間のかかる動作はあるものの、自立していた。

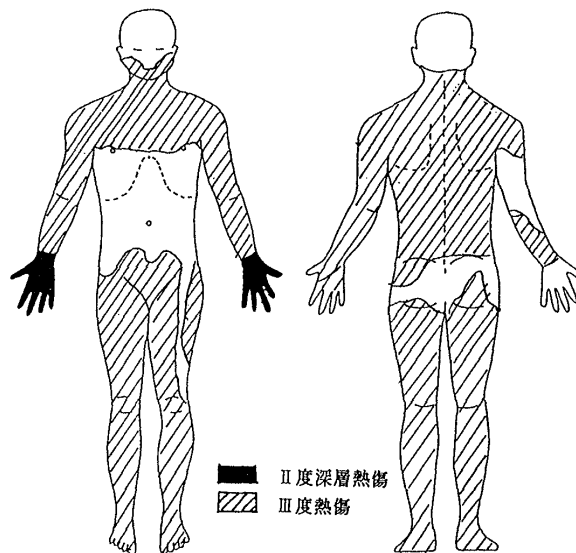


図2 熱傷面積(症例②)

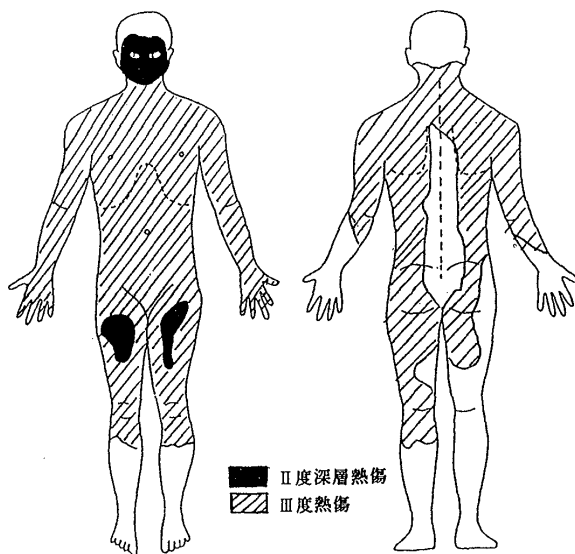


図1 熱傷面積(症例①)

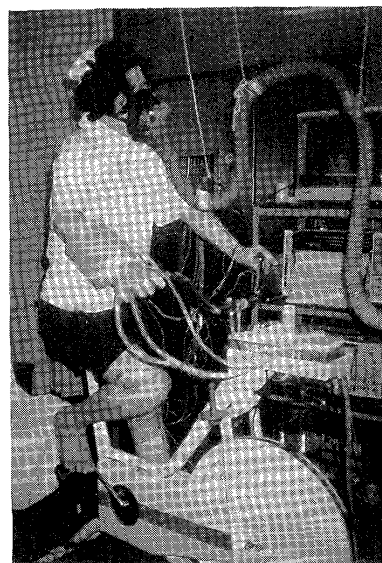


図3 運動負荷試験

受傷から運動負荷試験実施までの期間は、症例①で747日、症例②で867日であった。

2. 方法

被験者には前夜より絶食を指示し、女性はTシャツ・ショートパンツ、男性はショートパンツのみを着用させ運動負荷試験を施行した(図3)。人工気象室(TABAI TBL 6-S)内、環境温26~28°C・湿度40%一定の中性温度域を保つ環境下で、自転車エルゴメーター(MONARK社製)を用い、60RPMでの漸増抵抗運動をおこなった。労作は症例①で0.1Kp/min、症例②で0.2Kp/minの負荷とし疲労で運動の遂行が困難となるまで続けられた。

同時に、レーザードプラー血流計(LDF 2100, ADVANCE社製)を用いて、前額面と前腕部の皮膚血流量を測定した。発汗量は、右前腕部よりarm bag法にて測定した。この方法は、前腕部を包む袋の中に乾燥空気を流し、その空気の湿度を検出するもの(Hygrometry)で、発汗開始時間や発汗波などの発汗の動的なパターンを観察できる。湿度の検出は、Hygrometer(HMP 23 UT, VAISALA社製)でおこなった。運動中の体温としてThermister(Technol Seven社製)にて食道温を測定した。このセンサーは、鼻孔より食道へ約40cm挿入された。酸素摂取量は、分時換気量と吸気および呼気中の酸素濃度差から求めた。分時換気量は、フェイスマスクから呼気を採取し、有水式呼吸計で測定した。呼気酸素濃度は、呼気ガスの一部を毎分100mlで採取し、ガス分析計(IH 26, 三栄測器社製)にて測定した。また、前額面・体幹・上腕・前腕・大腿・下腿・足部の各部位の皮膚温(Thermister, Technol Seven社製)と、心電図を経時的に測定した。発汗量以外のデータは30秒ごとに、ADコンバーター(AOC 12 IB, 金沢コントロール機器社製)を通じ、発汗量はデジタルタイマーを通じて、パーソナルコンピュータ(PC 9801 VM, NEC社製)に取り込んだ。

結 果

各測定結果を図4に示した。皮膚血流量は、症例①の場合、運動開始から8分程度経過して、急激に増大した。正常では、血流量が増大し始めた時から少し遅れて発汗が始まるが、右前腕部からの発汗は全く認められなかった。この現象は、症例②にも同じく認められた。

一方、深部体温である食道温は、運動開始より緩やかに上昇したが、運動前より1°C以内の上昇にとどまっ

た。そのピーク値は、症例①で37.50°C、症例②で36.91°Cであった。

Wassermannらの予測式⁹⁾による予想最大酸素摂取量(以下、pred. $\dot{V}O_2\max$)は、症例①で1387 ml/min、症例②で1676 ml/minであった。これに対し、実測の酸素摂取量のピーク値(以下、peak $\dot{V}O_2$)は、症例①で993 ml/min、症例②で1264 ml/minであり、その割合は、各々71.6%、75.4%と低値であった。

また全身の皮膚温は、運動にともない緩やかに上昇し、運動終了後も上昇を続けていた。また、熱傷や身体部位による皮膚温の特異的な変化は認められなかった。平均皮膚温の変化を図4に示す。なお、平均皮膚温(\bar{T}_{sk})は、7つの身体各部位の皮膚温、前額面(a)・体幹(b)・上腕(c)・前腕(d)・大腿(e)・下腿(f)・足部(g)をもとに以下の計算式より求めた¹⁰⁾。

$$\bar{T}_{sk} = 0.07 a + 0.35 b + 0.14 c + 0.05 d + 0.19 e + 0.13 f + 0.07 g$$

運動中の心拍数は両者とも、150~160 bpm台まで達していた。

考 察

熱傷の重症度を表すB. I.は、10~15以上を重症と分類し、B. I.と年齢の和が100までのもの(最近では110までとする施設¹¹⁾も見られる)が、救命のめやすとして広く用いられていることから、本実験の被験者は両者とも高度な重症例であると言えよう。

1) 運動中の体温調節機構について

皮膚血流量の増大は、深部の熱を体表面に運び皮膚温を上昇させて輻射・対流による熱放散を促進するとともに、汗腺への水分補給をおこなうため、体温調節の重要な指標となる。このことは実際、右前腕部を測定した結果、運動開始から数分後に皮膚血流量の増大が確認された。しかし、この血流量増大から少し遅れて始まるはずの発汗は、起こらなかった。発汗量を測定した右前腕部は、両者ともⅢ度熱傷植皮部であり、自家植皮片を3倍に拡大したMesh graftが施されていた。このMesh graftは、皮膚の機能再生を期待した機能的植皮術とは異なり、単に創閉鎖を目的としたものである¹²⁾ため、発汗障害が残存したものと思われる。これらのことから、被験者の全身のⅢ度熱傷植皮部からは、発汗による熱放散はおこなわれなかったと考えられる。

しかし、運動中の深部体温は、1°C以内の上昇にとどまっていた。健常者の激しい運動時には、深部体温が

38.5 ~ 40°C になる場合がある⁶⁾⁷⁾ことを考慮すると、この体温上昇が、直接運動遂行能力の制限因子となったとは考え難い。Shapiro ら¹³⁾や McGibbon ら¹⁴⁾は、重症熱傷患者は、内外の温熱環境の変化という負荷（運動や暑熱暴露）が加わった場合、その体温上昇の程度が、健常者や軽症患者より大きいと述べている。しかし、本実験の結果は、暑熱暴露実験において、重症熱傷患者は健常者と変わらない体温調節能力を有していたとする Total¹⁵⁾の結果と一致するものである。また、熱傷患者

の正常皮膚からは代償性の発汗増が認められるとの報告¹³⁾¹⁴⁾もあるが、本実験の被験者にも受傷以前と比較して、後頭部などの正常皮膚からの発汗増が自覚的には存在していた。

2) 運動耐久性について

Pred. $\dot{V}O_2\text{max}$ に対する peak $\dot{V}O_2$ の値は、健常者のレベルを少なくとも 85% 以上¹⁶⁾とすることから、本研究の被験者の 71.6%, 75.4% という値は、運動耐久性の低下を示唆するものと考えられる。重症熱傷患者の体力低下

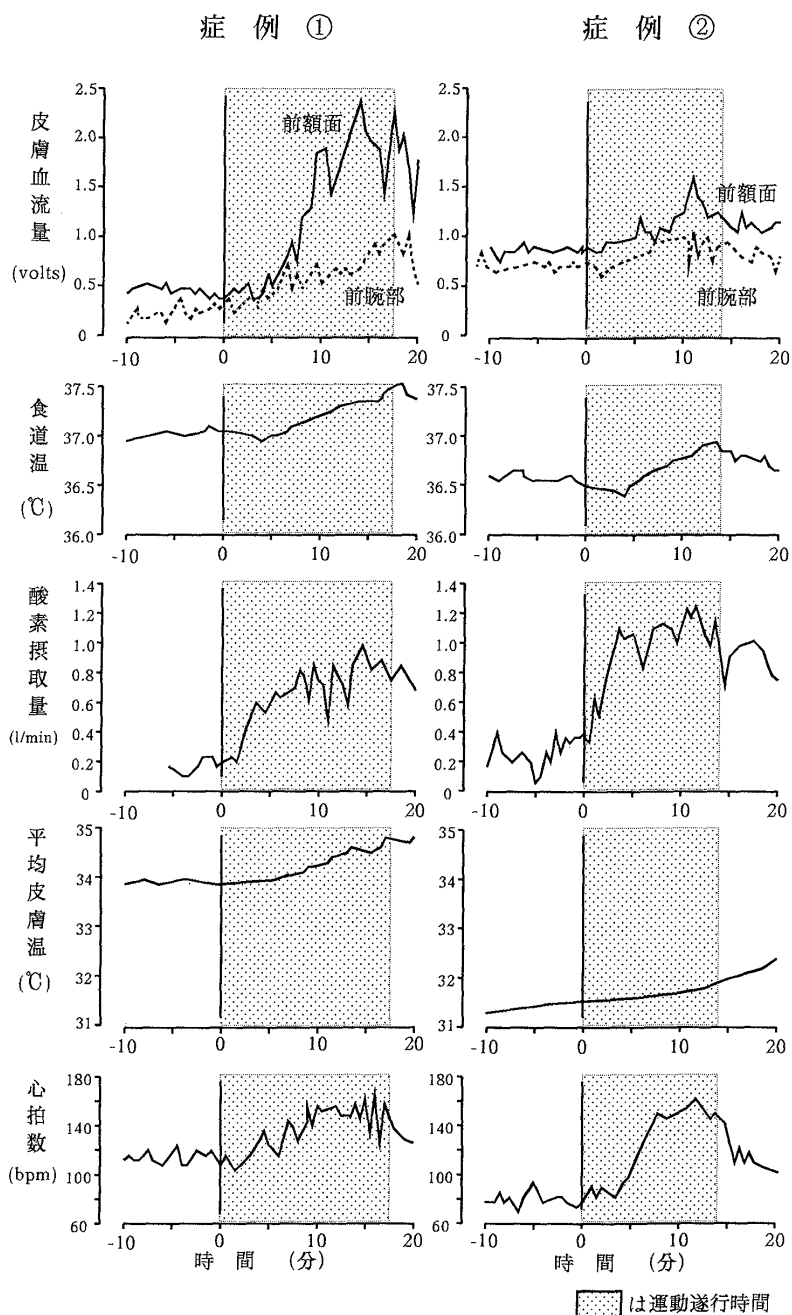


図4 各測定項目の運動中の変化

は、合併症などによる全身状態の不良や、頻回手術（debridement・植皮術）による安静期間の存在，運動にともなう疼痛などによって，回復のかなり遅いものであると言えよう。McElroy ら²⁾は，熱傷小児患者（平均熱傷面積 46%，平均Ⅲ度熱傷面積 33%）について，正常児と比較してその運動耐久性は，気道熱傷の有無や熱傷面積による差異は認められなかったと報告している。彼らは，肺機能障害を含んだ熱傷患者であっても，運動耐久性は長期的な影響を受けないと述べており，われわれの結果とは異なるものであった。その相違には，成人と小児の差や，治療手段の選択など様々な理由が考えられるが，被験者の熱傷重症度がわれわれの研究の場合圧倒的に高かったことが最大の要因であったと考えている。

なお，運動負荷試験における最大下テストの目標心拍数（Target HR）は運動中止の一条件であり，スカンジナビア委員会，WHO はほぼ（190-年齢）bpm を基準にしている¹⁷⁻¹⁹⁾。本研究の被験者の運動中の心拍数は，150～160 bpm 台まで達し，この運動負荷試験の有用性を裏づけていると言えよう。

今回われわれは，重症熱傷患者の発汗能に着目し，その運動にともなう体温調節能力と運動耐久性について検討した。その結果，熱傷患者（今回 2 症例）の体温調節機能は，熱傷部位の発汗障害の存在にもかかわらず良好に機能していた。このことにより，重症熱傷患者の受傷部の発汗障害が，その運動遂行能力の制限因子となるとは考え難いと思われるが，運動耐久性は実際には低下していた。しかし，その一方で，汗腺の広範囲な破壊をともなう程の重症熱傷患者であっても，ADL の自立が期待でき，また運動中の体温の異常な上昇の点において，特に問題なく運動耐久性の訓練がおこなえと言え，リハビリテーションの果たす役割の大きさがうかがえる。今日まで，熱傷のリハは，二次感染の予防や関節可動域の向上など急性期の理学・作業療法が強調されているが，救命率の向上により重症例であっても QOL を考慮する時代となり，熱傷患者の体力について検討することは今後の課題となろう。

なお，本稿の一部は，第 27 回日本理学療法士学会において発表した。

引用文献

- 1) Blades BC, Jones C, *et al.*: Quality of life after major burns. *J Trauma* 19: 556-557, 1979.
- 2) McElroy K, Alvarado ML, *et al.*: Exercise stress testing for the pediatric patient with burns: A preliminary report. *J Burn Care & Rehabilitation* 13: 236-238, 1992.
- 3) 齊藤隆三: 発汗異常. *日本臨床* 44 (7): 74-78, 1986.
- 4) 金子たづ子, 井形昭弘: 無汗症. *医学のあゆみ* 98 (5): 423-426, 1976.
- 5) 杉 晴夫: 人体機能生理学. 改 2 版, 南江堂, 東京, 1991, pp 627-648.
- 6) 永坂鉄夫, 渡辺 悟: 人体生理学. 廣川書店, 東京, 1985, pp 441-456.
- 7) Guyton AC: ガイトン・人体生理学 (F) 正常機能と疾患のメカニズム, 内菌耕二・入来正躬 (監訳), 廣川書店, 東京, 1976, pp 649-696.
- 8) 井谷達郎: 熱傷のリハビリテーション. 理学療法ハンドブック. 細田多穂, 柳澤 健 (編), 協同医書出版社, 東京, 1987, pp 575-606.
- 9) Wassermann K, Hansen JE, *et al.*: Principles of Exercise Testing and Interpretation. Philadelphia, Lea and Febiger, 1986.
- 10) Hirashita M, Shido O, *et al.*: Blood flow through the ophthalmic veins during exercise in humans. *Eur J Appl Physiol* 64: 92-97, 1992.
- 11) 小坂和弘, 杠 俊介・他: 当院形成外科における過去 4 年間の熱傷患者の治療成績の検討. 第 7 回日本熱傷学会プログラム講演抄録, pp 69, 1991
- 12) 塚田貞夫・安田幸雄: 早期手術—植皮のタイミングとテクニック. *外科診療* 9 (6): 1329-1335, 1989.
- 13) Shapiro Y, Epstein Y, *et al.*: Thermoregulatory response of patients with extensive healed burns. *Am Physiological Society* 1019-1022, 1982.
- 14) McGibbon B, Beaumont WV *et al.*: Thermal regulation in patients after the healing of large deep burns. *Plastic & Reconstructive Surgery* 164-170, 1973.
- 15) Totel GL: Physiological responses to heat of resting man with impaired sweating capacity. *J Applied Physiology* 37: 346-352, 1974.
- 16) Wassermann K, Whipp BJ, *et al.*: Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Resp Dis* 112: 219-249, 1975.
- 17) Andersen KL, Shephard RJ, *et al.*: Fundamentals of Exercise Testing. W. H. O., Geneva, 1971. 安田寿一・他 (訳), 運動負荷試験の基礎と実際. 日本公衆衛生協会, 東京, 1974.
- 18) Astrand L: The "Minnesota code" for ECG classification, adaptation to CR leads and modification of the code for ECG's recording during and after exercise. *Acta Med Scand (Suppl)* 481, 1967.
- 19) Scandinavian Committee on ECG Classification: the Minnesota code for ECG classification, adaptation to CR leads and modification of the code for ECG's recorded during and after exercise. *Acta Med Scand* 181: 481, 1967.

〈Abstract〉

Control of Thermoregulatory Sweating during Exercise in Patients with Severe Burns

Yuko HATA, RPT, Takahiro HAYASHI, RPT, Takashi MIYAMOTO, RPT,
Syuji KARASHIMA, RPT, Masao YAMAGUCHI, MD, Kozo HANAYAMA, MD
Rehabilitation Kaga-Yawata Onsen Hospital

Tetsuo NAGASAKA, MD, Sohtaro SAKURADA, MD, Minoru TANABE, Investigator
The First Dept. of Physiology, School of Medicine, Kanazawa University

Thermoregulatory capacity and exercise endurance during exercise were studied in patients with impaired sweating capacity due to severe burns. Two patients with deep second- and third-degree healed burns, (Burn Index : 70 and 73.5, respectively) underwent an exercise test using a bicycle ergometer in a comfortable environment (ambient temperature of 26~28°C and 40% relative humidity). Oxygen consumption, sweat rate, esophagus temperature, skin blood flow, skin temperature and heart rate were recorded during the exercise. The peak value of actual oxygen consumption (peak $\dot{V}O_2$) was 71.6% and 75.4% of the predicted maximum (pred. $\dot{V}O_{2max}$), respectively. They were lower than the normal ratio (85% or higher). No sweating response was observed in the areas which had suffered from third-degree burns, but normal thermoregulatory mechanisms were maintained to some extent throughout the exercise. These results indicate that the overall ability to control body temperature during exercise was relatively maintained in patients with impaired sweating capacity due to large areas of burned skin. It was suggested that impaired sweating capacity may hardly be a limiting factor for exercise tolerance of patients with severe burns.