



## 屋内バイクトレーニング時のトライアスロン熟練者の発汗量と体表面温度の測定

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2009-03-12 キーワード (Ja): キーワード (En): expert triathlete, indoor training, bike training, perspiration loss, body surface temperature 作成者: 森谷, 直樹, 大平, 勇一 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/438">http://hdl.handle.net/10258/438</a>

## 屋内バイクトレーニング時のトライアスロン熟練者の発汗量と体表面温度の測定

その他（別言語等）のタイトル	Measurements of Sweat Loss and Body Temperature of an Expert Triathlete at Indoor Bike Training
著者	森谷 直樹, 大平 勇一
雑誌名	室蘭工業大学紀要
巻	58
ページ	125-134
発行年	2009-02-20
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/438">http://hdl.handle.net/10258/438</a>

# 屋内バイクトレーニング時のトライアスロン熟練者の発汗量と体表面温度の測定

森谷 直樹<sup>\*1</sup>, 大平 勇一<sup>\*2</sup>

## Measurements of Sweat Loss and Body Temperature of an Expert Triathlete at Indoor Bike Training

Naoki MORIYA and Yuichi OHIRA

(原稿受付日 平成 20 年 6 月 20 日 論文受理日 平成 20 年 11 月 7 日)

### Abstract

The purpose of this study was to measure the perspiration loss and body surface temperature of an expert triathlete during indoor bike training. Exercise by the expert triathlete was carried out in a room with a room temperature of 22.2 – 22.5 °C, a relative humidity of 64–69% and WBGT of 18.5–19.5 °C. Heart rate and body surface temperature were measured intermittently throughout the experiment. Perspiration loss was calculated from the body weight measured before and after exercise. The findings in this study can be summarized as follows: 1) Perspiration loss during indoor bike training was about 0.70 kg/h. 2) Body surface temperature decreased with heart rate and exercise time. 3) The performance of the expert triathlete was high even though the AT level was exceeded.

Keywords : Expert Triathlete, Indoor training, Bike training, Perspiration loss, Body surface temperature

### 1. はじめに

トライアスロンはスイム, バイク, ランから構成される複合スポーツである。その様式は様々であるが, 最も普及しているトライアスロンディスタンス(スイム 1.5 km, バイク 40 km, ラン 10 km ; 通称: オリンピックディスタンス)の場合でも 2 時間以上の競技時間を要するため, 持久力を高めるためのトレーニングは 3 種目とも必須である。

\*1 文化女子大学室蘭短期大学保育科

\*2 応用化学科

3 種目のうち, バイクパートとランパートでは主として脚部を駆使するため, 3 種目の中で最も所要時間が長いバイクパートで体力を消耗するとランパートの成績に大きく影響する。前報<sup>(1)</sup>で, バイクパートの所要時間とランパートの所要時間の間に正の強い相関関係が認められること, バイクパートの所要時間は総合成績と強い相関関係があることを報告した。和多野・調枝<sup>(2)</sup>はトライアスロン選手をレースタイプ別に分類し, スイム型とラン型の 2 つに分けられるもののバイク型に分類される選手はいないと報告している。和多野・調枝はさらにこれらの結果について考察し, バイクパートが

得意なトライアスリートは絶対人数の占める割合が極めて少ないためであると考察するとともに、スイム型、ラン型選手がトレーニングを積むにしたがってバイクパートを第2の得意種目としていき、発展最終型としてスイム・バイク・ランの全てを得意とするオールラウンド型になると推察している。これらのことから、バイクパートは上級者にとって総合成績に大きく影響を及ぼす種目であり、初級者にとっても第2の得意科目になる可能性が高い種目である。よって、バイクパートはトライアスロン競技の中でも特に重要なパートと言える。

オフシーズンとなる冬期は次期に向けての重要なトレーニング期間である。スイム、ラントレーニングは一年を通じて屋内運動施設で可能であるが、バイクトレーニングは一般道路等を走行するため、積雪地域の北海道においては冬期間の屋外トレーニングは事実上不可能であり、屋内でトレーニングを行わざるを得ない。しかし、バイクトレーニングの場合は屋内に十分なスペースを確保することができないため、一般的には専用ローラー台にバイクを固定してペダリングを行なう。トライアスロンのバイクパートでは、前走者のスリップストリームを利用するドラフティングは一般に禁止されており、競技者は常に正面から風を受けている。梅林ら<sup>(3)</sup>はトレッドミルを用いた運動で風速が小さくなると発汗量が増大することを報告している。屋内は無風もしくはそれに近い状況であり、固定バイクによるトレーニングでは空冷効果が見込めないため発汗量が増すと考えられる。発汗によって失われた水分を給水等で適切に補給しないとパフォーマンスが低下するため、効果的な屋内バイクトレーニングおよび回復を行うには、余剰熱を効率よく除去する必要がある。菅原ら<sup>(4)</sup>は自転車エルゴメーターによる運動中に前腕を冷却すると呼吸循環系の負担軽減、体温上昇と発汗量増加の抑制に効果があると報告している。また、藤島・大垣<sup>(5)</sup>は自転車エルゴメーターでの運動中および運動後にコールドパックによって前額部、腰背部を冷却する実験を行い、身体冷却は体温上昇、体熱量、心拍数増加を抑制することを明らかにしているが、冷却部位の選定理由が明確ではない。寄本<sup>(6)</sup>は自転車エルゴメーターによる運動中の非活動部位である手部・前腕部皮膚温をサーモグラフィで測定した。運動負荷強度の増加に伴い皮膚温は低下し、体内温は上昇することを報告しているが、主要部位以外の温度変化については不明である。各パートについては、発汗量や体表面

温度などの基本的データや報告が見受けられるが、それらの実験に参加した被験者の多くは学生である。また、前報<sup>(1)</sup>を含め、トライアスロンレースで解析対象となるのは多くが市民であり、トライアスリートによる実験データ・報告はほとんど見受けられない。そのため、現状ではトライアスリートとして目指すべき目標の設定が難しい。また、トライアスロンのトレーニング方法およびケア方法を体系的に確立するためには、トライアスリートのパフォーマンスに関する基本的データ蓄積が必須である。

本報では、トライアスロンで重要なパートであるバイクパートのトレーニング方法を確立するために必要な基本データの取得を目的として、無風状態の屋内に設置した固定バイクをトライアスロン熟練者がペダリングを行った際の発汗量測定とサーモグラフィによる全身の体表面温度の測定を行った。さらに得られた結果について考察を加えた。トライアスロン熟練者によるバイクトレーニング例を示すことで、目指すべき目標設定用の資料を提示することが可能となる。

## 2. 実験方法

実験に用いた室は気積 150 m<sup>3</sup> 以上で、空調機器を使わず全ての窓を閉じ、日没後に実施した。この室内には被験者と測定者の2名以外はいない。実験に用いた固定バイクとしてロードレーサー型の自転車(TCR-COMPOSITE, GIANT 製)とローラー台(HYPERMAG ALU, MINOURA 製)を Fig. 1 に示す。補給水は常温の水道水を用い、1000 ml ボトルに入れた。心拍数および消費エネルギーを測定



Fig.1 実験に用いた自転車とローラー

するため心拍計(S725, POLAR 製)を用いた。気温および湿度は温湿度データロガー(RS-12, エスピーックミック製), 黒球温度は黒球温度計(吉野計測製), 風速および照度は多機能環境測定器(AHLT-100, CUSTOM 製)を用いて測定した。体重および補給用水道水の質量は電子天秤(HW-100KGL, 最小目盛 0.01 kg, エー・アンド・デイ製)を用いて測定した。体表面温度測定にはサーモビジョン(CPA-2200, 温度分解能 0.1 °C, チノー製)を用いた。

被験者 N.M.(29 歳(実験当時), 男性, 180.0cm, 70.2kg, 体脂肪率 8.2%)は, 日本選手権に出場した経験(3 回出場し, うち 2 回完走)を持つトライアスロン熟練者である。被験者の予測最大心拍数は次式<sup>\*)</sup>から計算した。

$$(\text{予測最大心拍数}) = 220 - (\text{年齢})$$

心肺機能の向上を目的とした心拍数は上記の 70~85%とされている<sup>(7)</sup>。このことから, AT レベルを次式で計算すると, 被験者の AT レベルは 162 となる。

$$(\text{AT レベル}) = (0.75)(\text{予測最大心拍数})$$

実験では発汗量および体表面温度の測定をより正確に行うため, 短パン, シューズ, 心拍計用ベルトのみの着用とした。体重および補給水質量を測定した後, 直ちに乗車し, ここを時刻 0 とした。自転車で 20 分間安静にした後, 心拍数 120 程度を目標にして毎分約 100 回転でのペダリング 1 を 30 分間行った。ペダリング 1 の後, 20 分間バイク上で安静にし, 下車した後に体重と補給水質量を測定した。再びバイクに乗車し, 5 分間安静にした後, ペダリング 2 を開始した。前半 5 分間をペダリングにより心拍数を AT レベルまで到達させること, 後半 5 分間はさらに心拍数を上げることを目標とした。実験中は汗のふき取りを行わなかった。また, 被験者に対して水分摂取に注意するよう伝えるにとどめ, 補給水量, 補給タイミングは任意とした。定期的に被験者の右前方(Right), 後方(Back), 左前方(Left)からサーモビジョンによる撮影を行うとともに, 気温等の測定を行った。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 実験環境と心拍数

Table 1 に実験開始前および実験終了後の屋内環境を示す。室内は蛍光灯により照らされているため, 実験前後で大きく変化しなかった。室を閉めるとともに意図的な送風を行っていないため,

Table 1 屋内実験環境

測定項目	実験開始前	実験終了後
照度 <sup>*1</sup>	500-1000 lx	500-1000 lx
風速 <sup>*1</sup>	0.0 m/s	0.0 m/s
黒球温度 <sup>*2</sup>	22.2 °C	22.5 °C
乾球温度 <sup>*2</sup>	22.0 °C	22.4 °C
湿度 <sup>*2</sup>	64%	69%
湿球温度 <sup>*3</sup>	17.5 °C	18.5 °C
WBGT <sup>*3</sup>	18.9 °C	19.5 °C
不快指数 <sup>*3</sup>	68.9	69.9

\*1 バイク周辺で測定

\*2 バイク側方 1.5 m, 高さ 1.2 m の位置で測定

\*3 計算値

Table 2 屋内実験(ペダリング 1)での測定データ

ペダリング時間	30 分	(時刻 20-50 分)
消費エネルギー	245 kcal	(時刻 20-50 分)
実験前体重	70.46 kg	(時刻 0 分)
実験後体重	70.24 kg	(時刻 70 分)
実験前補給水質量	0.77 kg	(時刻 0 分)
実験後補給水質量	0.64 kg	(時刻 70 分)

風速は 0.0m/s のままであった。黒球温度, 乾球温度, 湿度については若干変化したが, ほぼ一定とみなした。乾球温度と湿度から計算した湿球温度および不快指数についてもほぼ一定とみなすことができる。乾球温度, 湿球温度, 黒球温度から計算した WBGT は運動を行う際の温度の指標である。本実験における WBGT は 19 °C 程度であり, 熱中症予防のための指針<sup>(8)</sup>によれば, ほぼ安全な条件である。

Fig. 2 に心拍数の変化を示す。図中一点鎖線は AT レベルである。安静時の心拍数は 70 前後であるが, ペダリング 1 を開始すると心拍数は上昇し, 約 2 分で 130 程度となった。その後, 徐々に心拍数は低下し, ペダリング 1 終了直前では 120 程度となった。ペダリング 1 の後の安静状態では, 約 5 分で心拍数が 70 程度まで低下した。目視確認ではあるが, この間に発汗はほぼ停止した。ペダリング 2 を開始すると 1 分後に心拍数が 120 を超えた。その後徐々に心拍数は上昇し, 5 分後には被験者の AT レベル(HR=162)に達した。10 分後には被験者の最大心拍数に近い心拍数 180 となった。

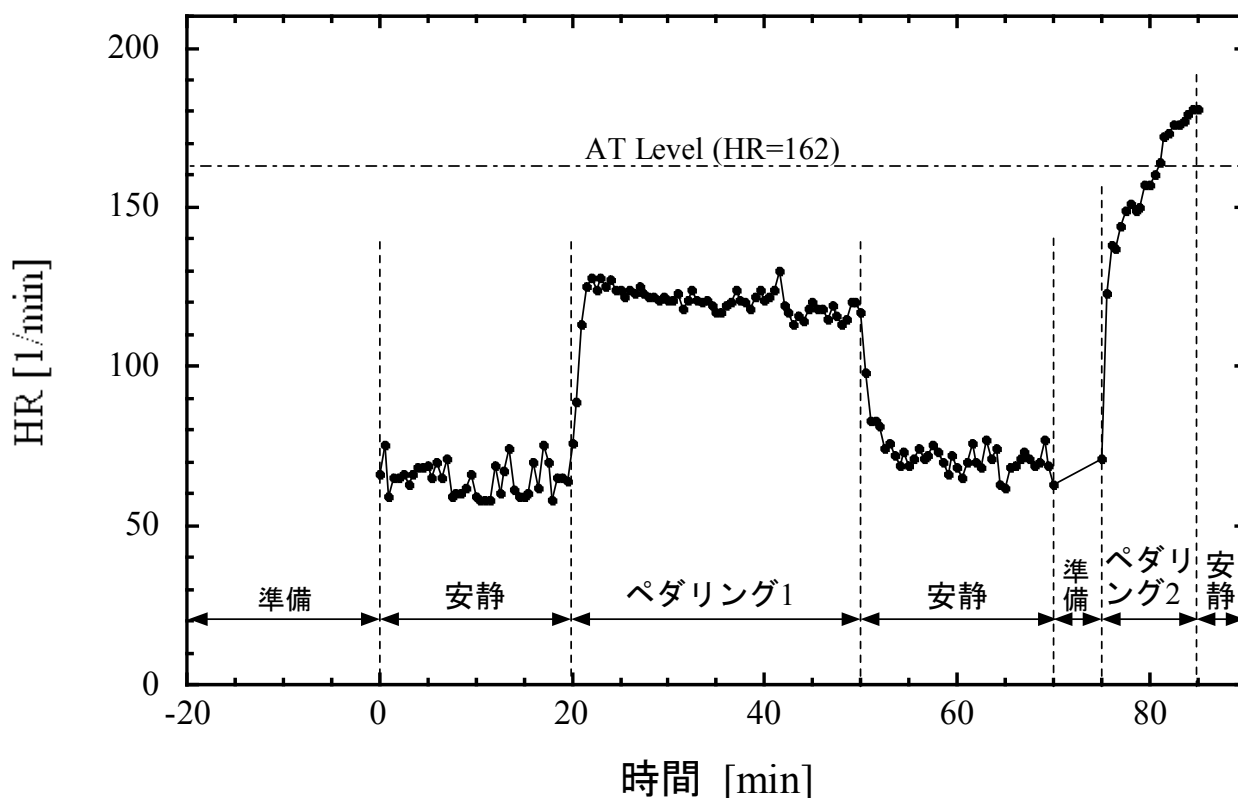


Fig.2 実験中の心拍数変化

### 3.2 発汗量測定

Table 2 にペダリング 1 中の消費エネルギー, 体重, 補給容器内水質量の変化を示す。ペダリング中の消費エネルギーは 245 kcal/30 分(1025 kJ/30 分=570 W) であった。実験前後で体重は 70.46 kg から 70.24 kg となり, 0.22 kg 減少した。さらに, 補給容器内水質量が 0.77 kg から 0.64 kg となり, 0.13 kg 減少していた。ペダリング運動による体重減少には発汗による減少と, 体内の糖類代謝等による減少があるが, 糖類等の代謝は極微量であり, 実質発汗による体重減少とみなすことができる。ペダリング 1 の実験前後の体重差(0.22 kg)と補給水の質量差(0.13 kg)の合計を求めると, 発汗量が 0.35 kg であることがわかった。

22 °Cでの水の蒸発エンタルピーは 2448 kJ/kg である。ペダリングによって生じたエネルギーを水の蒸発のみで全て除去する場合, 必要な水の量は約 0.42 kg と計算され, 発汗量とほぼ一致する。本実験において, 発汗で失われた水分量を 1 時間あたりに換算すると 0.70 kg となる。藤島・大垣<sup>(5)</sup> は自転車エルゴメーターによる運動を 24±0.5 °Cの屋内で 60 分間行い, 心拍数 150 前後での体表面積あたりの発汗量を報告している。この報告による発汗量の測定

結果を本実験の結果と比較できるように計算すると約 0.58±0.17 kg/h となる。藤島・大垣の実験とは心拍数, 気温がやや異なるものの, 発汗量は本実験結果と概ね一致する。しかし, 本実験における補給水量と発汗量の比である水分摂取率は 37 % (=0.13 kg/0.35 kg) である。運動は異なるが, RMR が同程度であるアメリカンフットボール練習時の水分摂取率は 60 %程度と報告されている<sup>(9)</sup>。アメリカンフットボールの練習は屋外で行ったものであるため, 水分補給には十分注意していたと予想されるが, 水分摂取率は 100 %ではない。また, 窪田ら<sup>(10)</sup> が無効発汗を考慮した発汗量を検討しているように, 無効発汗が存在するため発汗による除熱効率は 100 %ではない。屋内バイクトレーニングを行う場合は屋外トレーニング以上に水分摂取に注意する必要があることが示唆された。

### 3.3 体表面温度の測定

ペダリング 1 によって生じたエネルギーが体外に放散しないと仮定すると, 身体の比熱 0.83 kcal/(kg・°C)より, 被験者の体温は約 4 °C上昇すると計算される。実験中に撮影したサーモビジョンの画

像を Fig. 3(a) と Fig. 3(b) に示す。温度は 20 °C(青) から 36 °C(白) である。体表面温度は撮影 3 方向とも全て 27 °C 以上であり、被験者は黄色、赤色、白色で示されている。前述の計算のような体温上昇があれば体温は 40 °C となるが、サーモビジョンの映像から求めた体表面温度は最高で 36 °C である。これは、運動中の自然対流伝熱や汗の蒸発によって熱が除去され、体温上昇が抑えられたためである。なお、気温は 22 °C 程度であり、壁などの背景はほとんどが 25 °C 以下で青色を中心とした色になっている。

安静状態である時刻 0 分と時刻 20 分を比べると、高温を示す白色が頭部、背中、脛で広がっている。また、手首から指先にかけて、黄色から赤色に変化している一方で、前腕部は白色から赤色に変化している。その他の部位については撮影 3 方向とも大きな変化は見られない。このことから、安静にしている状態においても頭部、背中、手首から指先付近の温度が上昇したことがわかった。次にペダリング 1 中の時刻 20 分、40 分、50 分の画像を比べると、特に顕著な温度変化を示しているのは腰部、大腿前部、脛である。時間の経過とともに腰部の色は赤色から黄色に、脛の色は白色から赤色に変化した。これらの変化はペダリングによる温度低下であると思われる。一方、大腿前部は赤色から白色に変化した。腰部および脛の体表面温度の低下については発汗による冷却効果であると考えられる。大腿前部についても発汗による冷却効果が考えられるが、ペダリング運動によってそれ以上の熱が発生していると予想される。運動終了直後の時刻 50 分と安静にしている時刻 70 分の画像を比較すると、体表面は赤色を中心とする色に戻った。これは体表面温度が上昇したことを示している。特に顕著な部位は頸部と大腿前部の変化である。大腿前部については運動終了後も熱が発生していることを示している。ペダリング 2 を開始すると体表面温度は急激に減少し、実験開始 83 分後、85 分後では体表面温度がほぼ黄色で表される温度(26–27°C)となった。

定量的な評価を行うため、部位ごとに表面温度を求めた。全身を頭部、胸部、腕部(右上腕部、左上腕部)、手首、腹部、脚部(右大腿前部、左大腿前部)、背中の 7 部位 9 ヶ所に大別した。Figs. 4.5 に身体の各部位の温度変化を示す。時刻 0 での脱衣後、20 分間の安静で温度上昇が認められた部位は頭部、手首、背中であった。脱衣により体表面が直接外気に触れる状態になるため、体表面からの放熱量が増える。体温を一定にしようと発熱量が増加したためであると思われる。一方で、胸部、腕部、腹部、脚部はほぼ一定のままであった。これらは、体の中で

も皮下脂肪が多めの部位であり、発熱量の増加が体表面温度の上昇に反映されづらかったものと思われる。ペダリングを開始すると、体表面温度は指数関数的に低下する傾向が見られた。これは発汗により体表面の熱が奪われていたものと思われる。運動開始から 20 分間で頭部、腕部、背部、腹部、脚部は約 2 °C の温度低下が見られた。しかし、手首については運動開始 10 分で約 1.5 °C 低下するものの、その後温度は上昇し、運動前よりも高くなった。ペダリング開始から 20 分以降は体表面温度が若干高くなった。この時間帯では汗が滴となって床に落ちる現象が確認されており、体表面温度の上昇は無効発汗量の増加が原因と考えられる。手首についてはさらに温度が上がっている。この傾向は寄本<sup>(6)</sup> の報告と類似しており、運動によって血流が増加したためと考えられる。30 分のペダリング 1 終了後、安静にしていると体表面温度は上昇したが、ペダリング前の温度までに戻らなかった。しかし、脚部については運動終了後 5 分で体表面温度が 2 °C 上昇し、ペダリング前よりも 1 °C 程度高くなった。

実験開始後 75–85 分のペダリング 2 では、約 5 分で頭部および腹部はペダリング 1 と同じレベルの体表面温度まで低下した。ペダリング 2 における体表面温度の低下速度はペダリング 1 の場合と比べておよそ 4 倍である。その他の部位については、ペダリング 1 に比べて体表面温度の低下速度が速い上、ペダリング 1 よりも対表面温度がさらに 1°C 程度低くなった。特に背部の体表面温度は顕著に低下しており、これは心拍数を上げたことによって発汗量が増え、汗による体表面の冷却が行われたものと考えられる。寄本<sup>(6)</sup> は自転車エルゴメーターによる運動で、心拍数 100 程度の運動の場合、手部・前腕部皮膚温は安静時(HR=80)に比べてほとんど同じか若干低下するのに対して、心拍数 130–140 の運動中に手部・前腕部皮膚温が大幅に低下(1°C 程度)し、それ以上心拍数を上げてても手部・前腕部皮膚温は変化しないことを実験的に示している。本実験も同様の傾向を示しており、被験者の AT レベル(HR=162) を境に発汗速度が変化したものと思われる。また、時刻 85–90 分の安静で体表面温度の急激な回復が見られた。これは発熱量に応じて汗の蒸発速度が大きくなったためであると考えられる。

### 3.4 体表面温度と平均皮膚温の関係

全身の平均皮膚温を次式で表される 4 点法<sup>(11)</sup> で計算した。

(全身の平均皮膚温)

$$=0.3(\text{胸部温}+\text{上腕部温})+0.2(\text{大腿前部温}+\text{下腿部温})$$

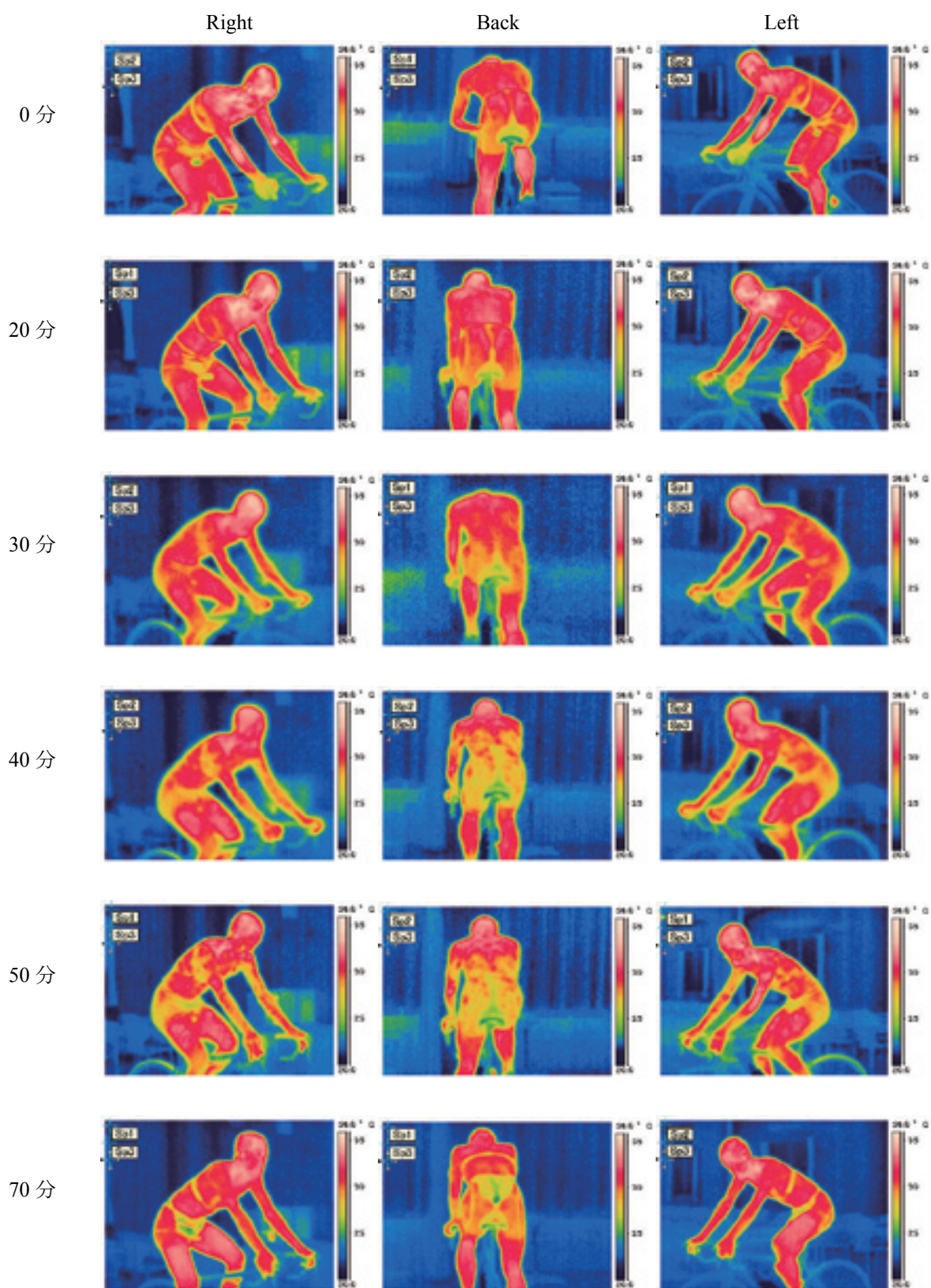


Fig.3(a) サーモグラフによる体表面温度測定画面(ペダリング 1)

安静 : 0-20分  
ペダリング : 20-50分  
安静 : 50-70分



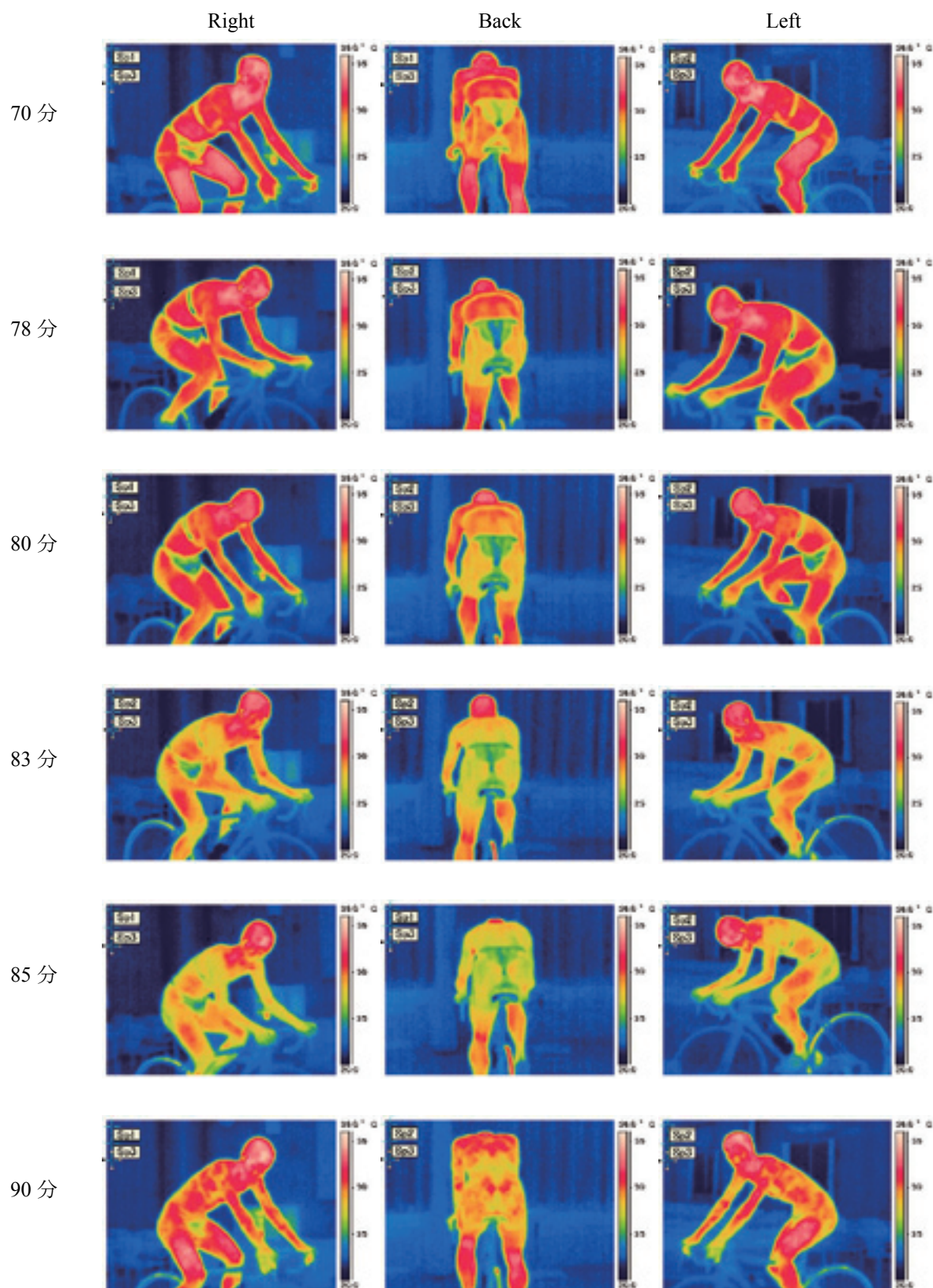


Fig.3(b) サーモグラフによる体表面温度測定画面(ペダリング 2)

安静・準備 : 70-75分

ペダリング : 75-85分

安静 : 85-90分

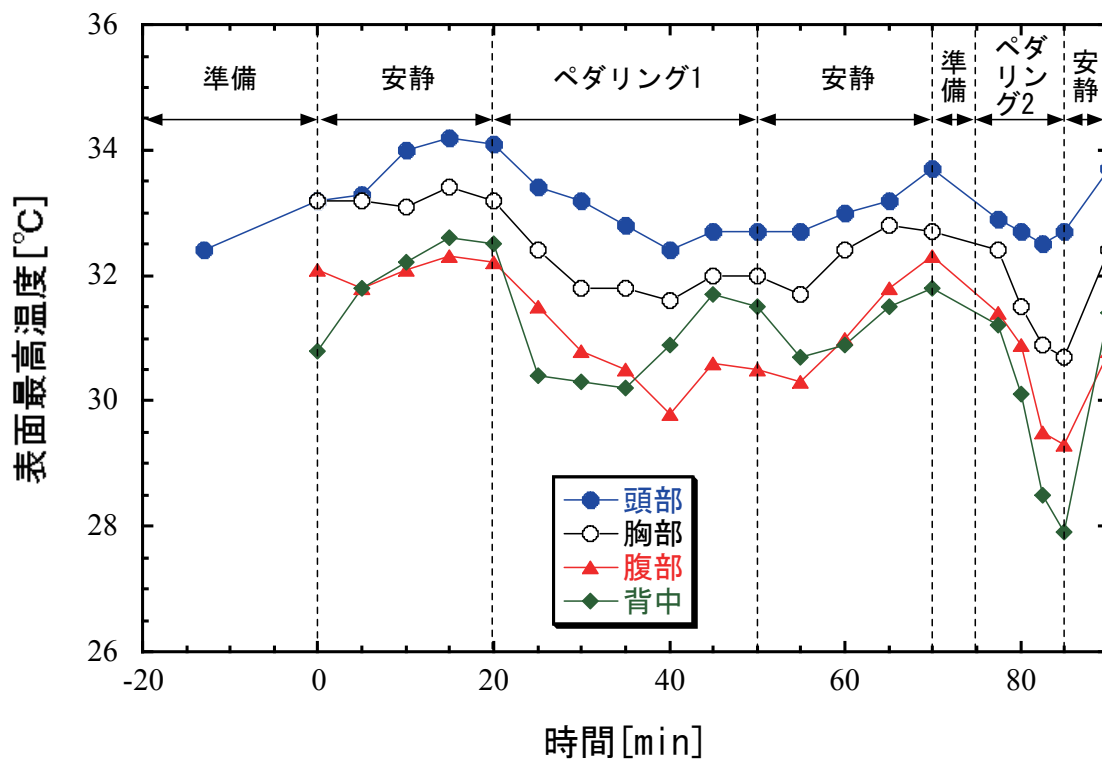


Fig.4 体表面温度(体幹部など)の経時変化

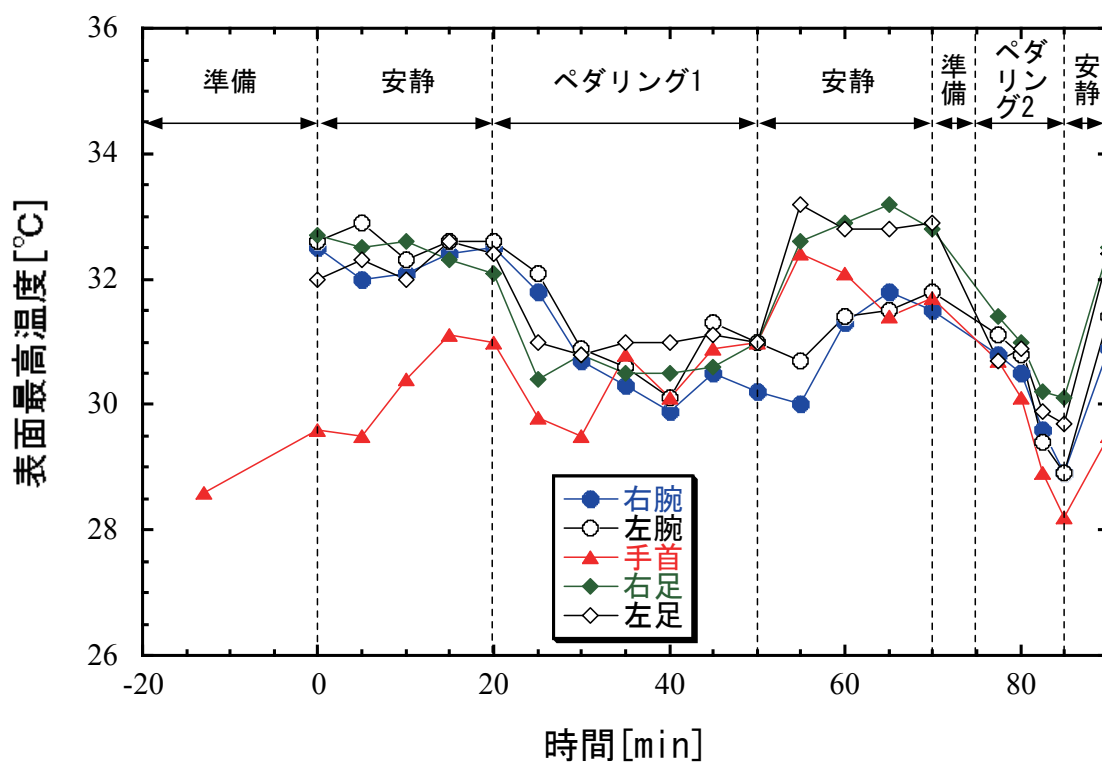


Fig.5 体表面温度(末梢部など)の経時変化

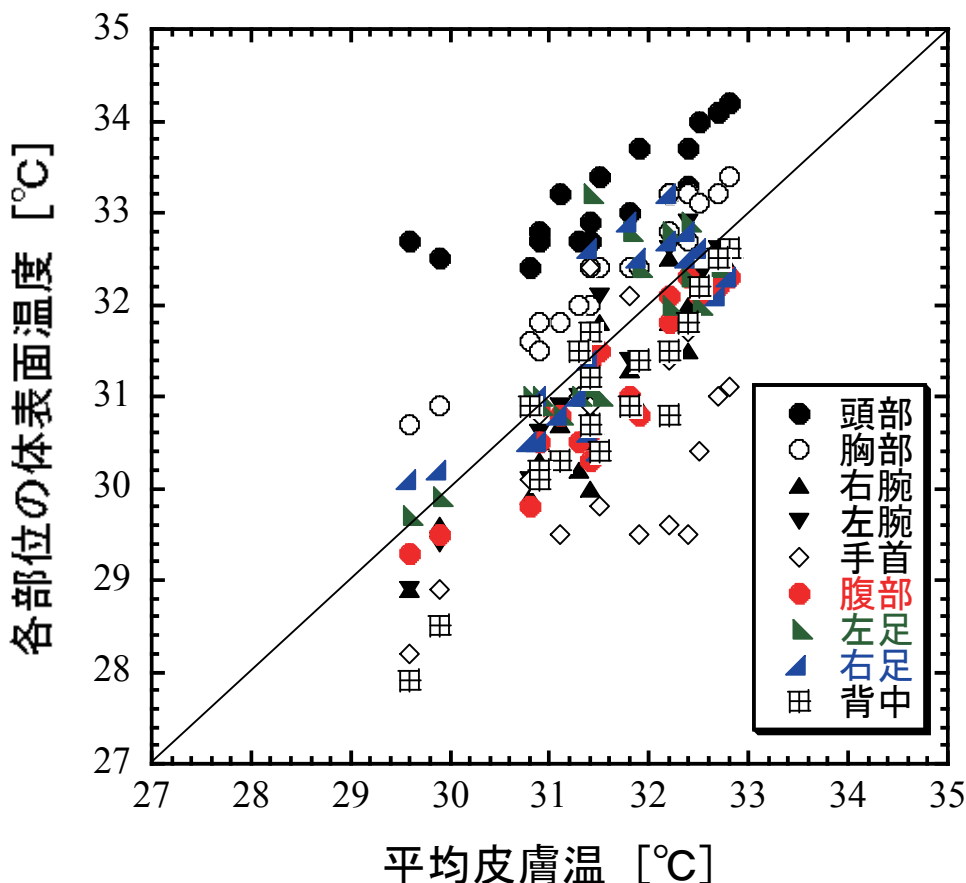


Fig.6 平均皮膚温と身体各部位の体表面温度

なお、この計算を行うにあたり、サーモビジョンの画像から下腿部温度を再測定した。平均皮膚温と各部位の体表面温度の関係を Fig. 6 に示す。腹部、手首、背中は全身の平均皮膚温よりも低い傾向にある。しかし、頭部と胸部の体表面温度が全身の平均皮膚温よりも高く、脚部は全身の平均皮膚温と同等以上である。また、ペダリングの主運動を行った大腿前部は運動後の体表面温度の上昇が著しい。ペダリング中は脚部が上下に移動しており相対的に風を受けている状況であるが、ペダリング後の安静時は無風状態となる。梅林ら<sup>(3)</sup>はトレッドミル運動中に全身に風を当てることで体温上昇と発汗量増加を抑制できると報告している。本実験では安静にしたことにより放熱速度が小さくなり、大腿前部の体表面温度が上昇したものと推測される。

#### 4. 結び

屋内に設置した固定バイクを用いてトライアスロン熟練者によるペダリング実験を行い、発汗量測定

とサーモビジョンによる体表面温度の測定を行った。その結果を解析し、次の知見が得られた。

- (1) 屋内トレーニングの場合でも 1 時間あたり 0.70 kg の発汗がある。水分摂取率はトライアスロン熟練者であっても 37%程度と低い。屋内運動中は任意ではなく、意図的に水分を摂取する必要がある。
- (2) ペダリングを行うと発汗によって体表面温度は低下し、心拍数が高いほど体表面温度が低下する。
- (3) ペダリング 2 の実験によって、トライアスロン熟練者は少なくとも 5 分間にわたって AT レベルを超える心拍数でペダリングを行える能力を持っていることが示された。
- (4) ペダリング中は、頭部、大腿前部のほか、胸部や腕部の表面温度が高くなりやすい。ペダリング後は、大腿前部のほか、手首の表面温度が高くなりやすい。

今回得られた知見をもとに、冬期間に行う屋内バイクトレーニングプログラムを作成し、トライアスロンを通じた QOL 向上に貢献してゆく所存である。

## 引用文献

- 1) 森谷直樹: 市民トライアスロン大会のレース分析—区間記録から見るレース展開—, 文化女子大学室蘭短期大学研究紀要, **31**, (2008), p5-15
- 2) 和多野大, 調枝孝治: トライアスロン選手のレースタイプと心理的競技能力の関係, 大阪体育大学紀要, **34**, (2003), p55-64
- 3) 梅林薫, 木内真弘, 辻田純三, 掘清記: トレッドミル運動における風の効果に関する生理学的研究, 大阪体育大学紀要, **26**, (1995), p21-25
- 4) 菅原正志, 田井村明博, 今中国泰: 運動時の前腕部冷却が体温調節反応に及ぼす影響, デサントスポーツ科学, **13**, (1992), p185-192
- 5) 藤島和孝, 大柿哲朗: 運動時の水分摂取および身体冷却が体温調節反応に及ぼす影響, 健康科学, **18**, (1996), p45-50
- 6) 寄本明: サーモグラフィからみた脚運動時の末梢皮膚温度変動, 滋賀県立短期大学学術雑誌, **26**, (1984), p59-64
- 7) 中村隆一, 齋藤宏, 長崎浩: 基礎運動学第6版, 医歯薬出版株式会社, (2003), p325-326
- 8) 財団法人日本体育協会: スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック, (2002), p12-16
- 9) 財団法人日本体育協会: 夏のトレーニング・ガイドブック, (2002), p29
- 10) 窪田英樹, 山越健弘, 鎌田紀彦, 朝比奈亮, 浜田博之, 若松伸司: 暑熱環境における無効発汗を考慮した人体平均皮膚表面温度の予測, 日本建築学会環境系論文集, **575**, (2004), p83-89
- 11) Ramanathan, N. L.: A new weighting system for mean surface temperature of the human body, *J. Appl. Physiol.*, **19**, (1964), p531-533