

こどもの暑熱耐性に関する研究

A Study on Heat Resistance of Children

2015年 9月

江口 潤 Jun Eguchi

田中 英登 Hideto Tanaka

## こどもの暑熱耐性に関する研究

### A Study on Heat Resistance of Children

江口 潤

**Jun Eguchi**

田中 英登\*

**Hideto Tanaka**

#### Abstract

The purpose of this study is to reveal the reality of the heat resistance of children who do sports regularly. The subjects of the experiment were 15 healthy elementary school children, namely, 11 males and 4 females, aged from 10 to 14. Twelve of them do exercises regularly and the remaining three rarely do them. The experiments were conducted in the spring during March and April, and the summer during August and September in 2014.

We found the heat tolerance of children varied significantly depending on the season. Significant differences between swimmers and soccer players were not observed. However, potential differences among the kinds of sports were suggested. In the future we will need another experiment with more samples to prove the results.

#### 1. 緒言

暑熱環境がヒトの身体に及ぼす影響は、生理学や運動生理学の分野で論じられている。ヒトは、人体が寒冷や暑熱環境におかれると体温調節反応が行われる。暑熱環境に対して、熱の放射、伝導、対流および汗の蒸発による熱放散を生じさせ、体内の熱を大気中に放散されることにより恒常体温を維持する〔猪飼1973〕。気温が28～30℃では、全代謝量と蒸発、輻射、対流により熱交換のバランスを取り、35℃くらいまでは汗の蒸発の増加により熱放散を増加できるが、それ以上になると輻射、対流によって熱が体内に入りこむようになりうつ熱の状

態になる。体熱放射の手段の割合は、気温との関連が大きく、気温が32℃になると汗の蒸発がおおよそ49%を占め、気温が35℃では95%に達する〔中野1982〕。

一般には、安静時よりも運動時は発汗量が多くなることが知られている〔朝比奈1969、猪飼1973、中野1982〕。運動時に現れる発汗は、その蒸発によって身体から熱を奪い、うつ熱を防ぎ、特に外気温が33℃以上になると輻射、対流は停止状態に入るばかりでなく、熱を逆輸入することになるので発汗だけに頼ることになる〔朝比奈1969〕。運動時は安静時よりも体内で数十倍の熱が生産されるため、体内に熱ストレスが負荷され、体温上昇が生じる。汗は汗腺から分泌される液体であるが、汗腺は視床下部にある体温調整中枢の支配を受ける。体内にある温度受容器から温度情報が体温調整中枢に伝達され、発汗神経を介して汗腺に発汗を促す。この際、発汗神経の末端からアセチルコリンが伝達物質として放出され、ムスカリン受容体に作用して汗が分泌される〔朝比奈1969、猪飼1973、中野1982〕。

このような発汗の仕組みは2歳半ころに完了する。完了とは、あくまで汗腺の能動化（ヒトの汗腺数は決まっているが、生後の生活環境により機能的に働く汗腺か働かない汗腺かに分かれる）が決定する時期を指す。能動化した汗腺が生活環境などの温度刺激などによってたくさん汗をかけるようになる人、かけない人に分離されていき、能動化した汗腺が十分にその能力を発揮できるようになる年齢は思春期後と言われている〔田中2013〕。

こどもの暑熱耐性のメカニズムについて芝崎ら（1995）は先行研究を検討し、以下の結果を得たと報告している。1. こどもは成人より単一汗腺あたりの汗出力が少ない、2. こどもは成人より体幹部の発汗量が少ない、3. こどもは成人より暑熱トレーニングの影響が少ない。また、都築ら（1996）は、成長期の男女の体温調節反応が皮膚血管拡張に依存していること、暑熱環境下において皮膚温を測定し成人よりも成長期の男女の方が有意に高いこと、暑熱と風を暴露した時の温熱反応と熱のバランスについて安静時のこどもを対象に検討し成人との差異がないことを報告している。

運動トレーニングによる暑熱耐性のメカニズムに関する研究は多く報告されている。田中（2013）は、生活習慣と発汗機能について大学生男子を対象に運動習慣群と非運動習慣群を比較し、発汗量は運動習慣群のほうが非運動習慣群より多く、特に7月から9月にかけての変化が非運動群において小さいことを報告している。近藤（1995）は、大学生を対象に体温調節機能もトレーニングにより改善することを報告している。また、持久的トレーニングでも水中と陸上で行う場合で熱放散反応を比較し、両者に違いがあること、発汗能力に於いて改善の程度が異なることを報告している。

上記の先行研究を踏まえ、本研究は、以下の2点を仮説として、これを検証することにより定期的にスポーツを実施するこどもの暑熱耐性の実態を明らかにすることを目的とした。

1. こどもの暑熱耐性は季節間で変化する

2. 実施種目毎で特性がある

## 2. 方法

調査対象者は、健康な小学生高学年および中学の児童15名（10才～14才、男子11名、女子4名、運動習慣群サッカー6名：IY、ND）、FM、OS、OK、YY、運動習慣群水泳6名：YK、YR、EK、WH、OR、SM、非運動習慣群3名：ET、AA、TS）であった。運動群は、週4日以上各種目（サッカー、水泳）を実施しており、非運動群は定期的に運動していないものとした。

実験は、春季（2014年年3月、4月）と夏季（2014年8月、9月）の2回行い、暑熱負荷時の発汗量、体温上昇度、心拍数の変動を測定し、発汗の季節変動による違いを記録した。

なお、女子には初潮の有無を確認し、月経周期にある1名には基礎体温を測定させ、低体温期である卵胞期を確認しそれに合わせて実験を行った。

被験者には予め実験の目的、内容、考えられる危険性について説明し、書面にて実験参加の同意を得た。

測定は、各被験者の着衣条件を水着とし、実験開始前に脱水にならないように200mlのスポーツドリンクを補給させ、実験前体重（ザルトリウス社製精密体重計、感度1g）と体温（シチズン電子体温計：舌下温5分値）を計測した。

次に、ハートレートモニター（POLAR社製）を装着し心拍数の変化の測定を開始した。その後、気温35℃、湿度50%に設定した人工気象室に移動し、椅座位安静状態を10分間維持させた。10分経過後、更に、水温41℃に設定した温水（EYELA社製CPT-100の恒温水槽により41℃ $\pm$ 0.2を維持）に椅座位の状態膝下浸水させ（図1）、30分間暑熱ストレスを与えた。また、人工気象室に移動した直後に問診項目に回答させ、その後10分おきに問診項目に自己回答させた。30分の暑熱ストレス負荷終了後、体温（舌下温）を測定し、人工気象室外で体表面上の汗をタオルでふき取り全裸で体重測定を行った。発汗量は実験前後の体重変化から算出した。

各項目の平均値と標準偏差を算出した。さらに、発汗量、体温の平均と季節間、種目間で有意差検定（t検定）を行った。

図1. 実験装置（椅座位の状態での膝下浸水の様子）



### 3. 結果

#### 3.1 体重変化

表1. は、被験者15名の春季（3、4月）および夏季（8、9月）の体重変化の結果である。暑熱負荷前体重は、春季は、 $36.44 \pm 8.63\text{kg}$ 、夏季は、 $37.84 \pm 8.77\text{kg}$ であった。暑熱負荷後体重は、春季は、 $36.35 \pm 8.58\text{kg}$ 、夏季は、 $37.69 \pm 8.75\text{kg}$ であった。暑熱負荷前後の体重差（発汗量）は、春季は $93.07 \pm 68.56\text{g}$ 、夏季は $148.89 \pm 62.29\text{g}$ であった。春季夏季ともに、暑熱負荷前後で体重は減少（発汗）した。被験者は成長期の児童であり、暑熱耐性の評価をする際は、成長による誤差を考慮に入れる必要がある。春季の体重当たりの体重変化量は $2.44 \pm 1.6\text{g/kg}$ 、夏季の体重変化は $4.02 \pm 1.7\text{g/kg}$ であった。

表1. 実験前後の体重変化

| 被験者                 | IY     | ND    | FM    | OS     | OK     | YY     | YK     | YR     | EK     | WH     | OR     | SM    | ET     | AA     | TS     | 平均     | ±SD   |
|---------------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 春季(3,4月) 平均気温 12.2℃ |        |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |        |       |
| 前体重(kg)             | 31.22  | 28.75 | 30.53 | 31.56  | 39.11  | 28.89  | 28.91  | 41.66  | 40.53  | 36.16  | 40.45  | 38.93 | 62.36  | 37.22  | 30.39  | 36.44  | 8.63  |
| 後体重(kg)             | 31.22  | 28.67 | 30.46 | 31.47  | 38.96  | 28.89  | 28.82  | 41.52  | 40.43  | 36.10  | 40.26  | 38.93 | 62.16  | 37.04  | 30.35  | 36.35  | 8.58  |
| 体重差(g)              | 0      | 74.20 | 66.50 | 96.80  | 147.80 | 0      | 91.00  | 136.9  | 104.3  | 59.40  | 192.30 | 0     | 199.01 | 186.81 | 41.00  | 93.068 | 68.56 |
| 体重比(g/kg)           | 0      | 2.58  | 2.18  | 3.07   | 3.78   | 0      | 3.15   | 3.29   | 2.57   | 1.64   | 4.75   | 0     | 3.19   | 5.02   | 1.35   | 2.44   | 1.60  |
| 夏季(8,9月) 平均気温 24.8℃ |        |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |        |       |
| 前体重(kg)             | 32.45  | 29.31 | 31.32 | 33.30  | 39.90  | 28.96  | 30.96  | 46.64  | 42.41  | 37.78  | 42.05  | 39.07 | 62.71  | 39.41  | 31.32  | 37.84  | 8.77  |
| 後体重(kg)             | 32.34  | 29.21 | 31.22 | 33.05  | 39.63  | 28.79  | 30.79  | 46.46  | 42.24  | 37.65  | 41.82  | 39.03 | 62.54  | 39.32  | 31.22  | 37.69  | 8.75  |
| 体重差差(g)             | 105.00 | 99.50 | 97.8  | 241.40 | 258.50 | 170.03 | 162.30 | 180.40 | 174.00 | 125.00 | 224.00 | 37.00 | 165.40 | 92.50  | 100.40 | 148.88 | 62.3  |
| 体重比(g/kg)           | 3.24   | 3.40  | 3.12  | 7.25   | 6.48   | 5.87   | 5.24   | 3.87   | 4.10   | 3.31   | 5.33   | 0.95  | 2.64   | 2.35   | 3.21   | 4.02   | 1.7   |

### 3. 2 体温変化

表2. は、被験者15名の春季（3、4月）および夏季（8、9月）の暑熱負荷前後の体温変化の結果である。暑熱負荷前体温は、春季は $36.28\pm 0.72^{\circ}\text{C}$ 、夏季は $36.58\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ であった。暑熱負荷後体温は、春季は $37.43\pm 0.32^{\circ}\text{C}$ 、夏季は $37.49\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ であった。暑熱負荷前後の体温変化は、春季は $1.15\pm 0.69^{\circ}\text{C}$ 、夏季は $0.90\pm 0.38^{\circ}\text{C}$ であった。春季、夏季ともに、暑熱負荷前後で体温は上昇した。

表2. 実験前後の体温変化

| 被験者                                | IY   | ND   | FM   | OS   | OK   | YY   | YK   | YR   | EK   | WH   | OR   | SM   | ET   | AA   | TS   | 平均    | ±SD  |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| 春季(3,4月) 平均気温 12.2℃ <sup>注1)</sup> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
| 前体温(℃)                             | 36   | 36.6 | 35.4 | 35.4 | 35.6 | 35.2 | 37.1 | 37.1 | 37.2 | 35.6 | 36.9 | 36.3 | 37   | 36.8 | 36   | 36.28 | 0.72 |
| 後体温(℃)                             | 37.4 | 37.1 | 37.3 | 37.1 | 36.8 | 37.6 | 37.9 | 37.1 | 37.6 | 37.6 | 37.3 | 37.4 | 37.9 | 37.7 | 37.7 | 37.43 | 0.32 |
| 差(℃)                               | 1.4  | 0.5  | 1.9  | 1.7  | 1.2  | 2.4  | 0.8  | 0    | 0.4  | 2    | 0.4  | 1.1  | 0.9  | 0.9  | 1.7  | 1.15  | 0.69 |
| 夏季(8,9月) 平均気温 24.8℃ <sup>注1)</sup> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
| 前体温(℃)                             | 36.7 | 36.9 | 37.1 | 36.7 | 36.6 | 37.1 | 36.7 | 36.2 | 36.5 | 36.3 | 36.5 | 36.5 | 36.5 | 36.8 | 35.7 | 36.58 | 0.35 |
| 後体温(℃)                             | 37.5 | 37.4 | 37.6 | 37.7 | 37.2 | 37.6 | 37.5 | 37   | 37.9 | 37.3 | 37.3 | 37.6 | 37.3 | 37.9 | 37.6 | 37.49 | 0.25 |
| 差(℃)                               | 0.8  | 0.5  | 0.5  | 1    | 0.6  | 0.5  | 0.8  | 0.8  | 1.4  | 1    | 0.8  | 1.1  | 0.8  | 1.1  | 1.9  | 0.90  | 0.38 |

### 3. 3 心拍数変化

表3. は、被験者15名の春季（3、4月）および夏季（8、9月）の実験前後の心拍数変化の結果である。暑熱負荷直前心拍数は、春季は、 $75.8\pm 6.94$ 拍/分、夏季は、 $80.00\pm 8.84$ 拍/分であった。暑熱負荷直後は、春季は、 $108.07\pm 11.18$ 拍/分、夏季は、 $103.93\pm 9.01$ 拍/分であった。春季の上昇は $31.36\pm 11.40$ 拍/分、夏季は $23.64\pm 8.96$ 拍/分であった。全ての被験者で、暑熱負荷刺激により心拍数は上昇した。

表3. 実験前後の心拍数変化

| 被験者          | IY       | ND | FM | OS  | OK  | YY  | YK  | YR  | EK  | WH  | OR  | SM | ET  | AA  | TS  | 平均   | ±SD    |       |
|--------------|----------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|------|--------|-------|
| 春季<br>(3,4月) | 直前HR(1)  | 75 | 76 | 63  | 83  | 88  | 67  | 78  | 76  | 70  | 89  | 74 | 72  | 76  | 75  | 75.8 | 6.94   |       |
|              | 15分HR(2) | 90 | 82 | -   | 93  | 114 | 87  | 94  | 96  | 106 | 98  | 84 | 89  | 93  | 90  | 107  | 94.5   | 9.12  |
|              | 終了時HR(3) | 97 | 96 | -   | 104 | 120 | 102 | 107 | 105 | 122 | 116 | 98 | 102 | 103 | 106 | 135  | 108.07 | 11.18 |
|              | (3)-(1)  | 22 | 20 | -   | 21  | 32  | 35  | 29  | 29  | 52  | 27  | 24 | 30  | 27  | 31  | 60   | 31.36  | 11.40 |
| 夏季<br>(8,9月) | 直前HR(1)  | 65 | 68 | 75  | 86  | 85  | 74  | 87  | 88  | 74  | 100 | 77 | 78  | 76  | 83  | 84   | 80     | 8.84  |
|              | 15分HR(2) | 79 | 81 | 102 | 95  | 106 | 95  | 106 | 101 | 97  | 100 | 83 | 96  | -   | 101 | 111  | 96.64  | 9.64  |
|              | 終了時HR(3) | 88 | 89 | 109 | 100 | 109 | 100 | 104 | 109 | 112 | 105 | 97 | 102 | -   | 109 | 122  | 103.93 | 9.01  |
|              | (3)-(1)  | 23 | 21 | 34  | 14  | 24  | 26  | 17  | 21  | 38  | 5   | 20 | 24  | -   | 26  | 38   | 23.64  | 8.96  |

### 3. 4 問診の結果

被験者には、人工気象室に移動した直後、寒さ暑さの感覚を問診項目で回答させ、その後10分おきに問診項目に逐次回答させた。回答方法は7段階尺度であった。「耐えられない寒さ」を-3、「中立」を0、「耐えられない暑さ」を3とした。表4. は、感覚を数字で回答させた結果である。10分毎に暑さを感じる傾向が有意に高まる傾向があった。

表4. 問診結果：寒さ暑さの感覚

| 被験者          | IY   | ND | FM | OS | OK | YY | YK | YR | EK | WH | OR | SM | AA | TS | ET | 平均   | ±SD  |      |
|--------------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|------|------|
| 春季<br>(3、4月) | 0分後  | 0  | 2  | 0  | -2 | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0.53 | 0.92 |      |
|              | 10分後 | 0  | 2  | 0  | 0  | 1  | 2  | 0  | 1  | 2  | 0  | 2  | 1  | 2  | 2  | 1.13 | 0.92 |      |
|              | 20分後 | 2  | 2  | 2  | 1  | 2  | 2  | 1  | 2  | 2  | 1  | 2  | 3  | 2  | 3  | 2    | 1.93 | 0.59 |
|              | 30分後 | 2  | 2  | 3  | 2  | 2  | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  | 2    | 2.53 | 0.52 |
| 夏季<br>(8、9月) | 0分後  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0.53 | 0.52 |      |
|              | 10分後 | 1  | 1  | 2  | 0  | 1  | 2  | 0  | 2  | 2  | 2  | 0  | 2  | 1  | 1  | 1.20 | 0.77 |      |
|              | 20分後 | 2  | 1  | 3  | 1  | 2  | 2  | 1  | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 1  | 1.93 | 0.70 |      |
|              | 30分後 | 2  | 2  | 3  | 2  | 3  | 2  | 0  | 3  | 3  | 2  | 2  | 3  | 3  | 2  | 2.27 | 0.80 |      |

※尺度： -3 (耐えられない寒さ) ⇔ 0 (中立) ⇔ 3 (耐えられない暑さ)

汗のかき方の自覚を、4段階尺度で回答させた。「なし」を0、「とてもかいている」を3とした。表5. は、数字で感覚を10分おきに回答させた結果である。10分毎に汗のかき方の自覚が有意に高まる傾向があった。

表5. 問診結果：汗のかき方の自覚

| 被験者          | IY   | ND | FM | OS | OK | YY | YK | YR | EK | WH | OR | SM | ET | AA | TS | 平均   | ±SD  |      |
|--------------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|------|------|
| 春季<br>(3、4月) | 0分後  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0.07 | 0.26 |      |
|              | 10分後 | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 2  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0.53 | 0.64 |      |
|              | 20分後 | 2  | 0  | 2  | 0  | 2  | 3  | 1  | 1  | 3  | 1  | 1  | 2  | 2  | 2  | 1    | 1.53 | 0.92 |
|              | 30分後 | 2  | 1  | 3  | 1  | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 2    | 2.53 | 0.74 |
| 夏季<br>(8、9月) | 0分後  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0.20 | 0.41 |      |
|              | 10分後 | 1  | 1  | 2  | 0  | 1  | 2  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 2  | 2  | 1  | 1.27 | 0.59 |      |
|              | 20分後 | 1  | 1  | 3  | 3  | 2  | 2  | 1  | 2  | 3  | 1  | 2  | 2  | 2  | 3  | 2    | 2.00 | 0.76 |
|              | 30分後 | 2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 2  | 2  | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3    | 2.67 | 0.49 |

※尺度： 汗のかき方感 0 (なし) ⇔ 3 (とてもかいている)

### 3. 5 暑熱耐性の季節変化

図2. は、被験者15名の暑熱負荷前後の体重変化、すなわち、発汗量の春季 (3、4月) 夏季 (8、9月) 比較を示している。春季夏季間では、平均値の差の検定により5%水準で有意な差が認

められた。春季から夏季にかけて被験者の身体は、発汗による体温調節力を改善するという暑熱順化が進行したことが示唆される。

図2. 実験前後の体重（発汗量）変化の季節比較

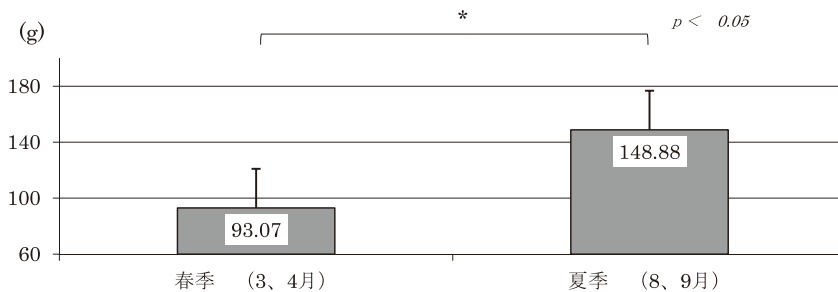


図3. は、被験者15名の暑熱負荷前後の体温差の春季（3、4月）夏季（8、9月）比較を示している。春季夏季間では、平均値の差の検定により5%水準で有意な差が認められた。春季から夏季にかけて被験者の身体は、暑熱順化が進行し、汗をたくさんかけるようになり、体温を上昇しなくても暑熱環境に対応できるように変化したことが示唆される。

図3 実験前後の体温変化の季節比較

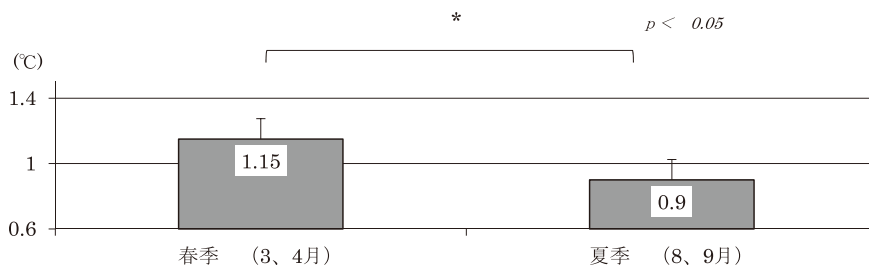


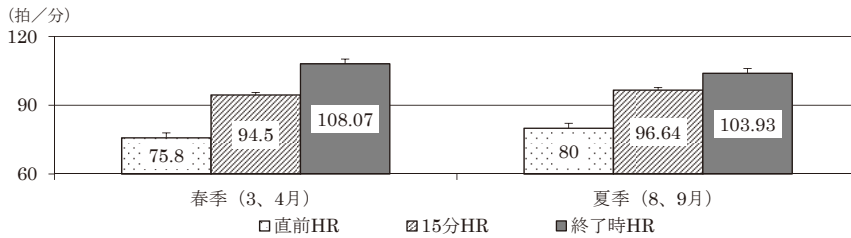
図4. は、被験者15名の暑熱負荷前後の心拍数変化の春季（3、4月）夏季（8、9月）比較を示している。春季、夏季ともに、暑熱負荷中は心拍数が増加する。暑熱負荷前後の心拍数の差は夏季のほうが小さい。暑熱ストレスにより対して春季、夏季間で血流が促される程度に差があることは、暑熱順化が進行した結果、春季より夏季のほうが体温維持調節能力の高ま



っていることが推察される。

被験者は成長期の児童であり、うち12人は日常的に運動を経験している。サッカーであれば週4日以上、1日2時間ほど、水泳であれば週6日以上1日2時間ほど、集中してトレーニングを積んでいる。このように通常よりも強い身体への刺激を与えることにより、運動機能は向上しているものと考えられる。各数値の変化の背景には、暑熱順化に加えトレーニングによる運動能力の向上があるものと考えられる。

図4. 実験前後の心拍数 (HR) 変化の季節比較



### 3. 6 暑熱耐性と種目間比較

一般に運動種目により、競技者は独自の身体的能力を向上させることが知られている。暑熱耐性に関する運動種目別の傾向について、近藤ら（1995）は陸上で実施される種目と水中で実施される種目に相違があることを報告している。

被験者15名のうち、陸上で定期的にサッカーを実施する6人と水泳を定期的に実施する6人を対象に比較した。

図5. は、種目別の発汗量の季節変化を示すものである。サッカー実施の被験者の春季（3、4月）の発汗量変化は平均 $64.21 \pm 57.27$ g、夏季（8、9月）の発汗量変化は平均 $162.04 \pm 73.43$ gであった。水泳実施の被験者の春季の発汗量変化は平均 $97.32 \pm 65.70$ g、夏季の発汗量変化は平均 $150.45 \pm 64.06$ gであった。

サッカーに比べ水泳は、春季に発汗量が多いが、夏季は逆にサッカーが水泳より発汗量が多い。サッカーと水泳間に有意な差は認められなかったが、暑熱順化の程度については、サッカーの春季が平均 $1.93 \pm 1.59$  g/kg から夏季には平均 $4.89 \pm 1.85$ g/kg に変化しているのに対し（5%水準）、水泳は平均 $2.57 \pm 1.62$  g/kg から平均 $3.80 \pm 0.71$  g/kg へ変化したが、変化量が少ないことから、水泳よりもサッカーのほうが暑熱順化が進行したことが推察される。

図5. 種目別発汗量の季節変化

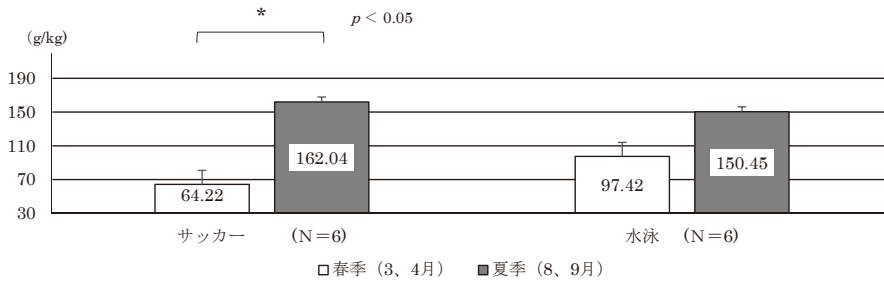


図6. は、種目別の体温の季節変化を示すものである。サッカーの暑熱負荷前体温は、春季 (3、4月) の体温変化の平均は $1.52 \pm 0.65^\circ\text{C}$ 、夏季 (8、9月) の体温変化の平均は $0.65 \pm 0.21^\circ\text{C}$ であった。春季、夏季ともに、暑熱負荷前後で体温は上昇した。上昇の程度は、夏季が小さかった。水泳の暑熱負荷前体温は、春季は平均 $0.78 \pm 0.71^\circ\text{C}$ 、夏季の体温変化は平均 $0.98 \pm 0.24^\circ\text{C}$ であった。春季、夏季ともに、暑熱負荷前後で体温は上昇した。上昇の程度は、春季が小さかった。

サッカーと水泳を比較すると、暑熱負荷前後で体温は上昇した点では、同様な傾向がある。しかしながら、上昇の程度に季節差があり、サッカーは夏季のほうが減少した (5%水準で有意) のに対し、水泳では夏季のほうが上昇した。

サッカーは夏季が春季に比べ体温差が小さく、体温を上昇させずに外部環境に対する体温調節能力を変化させた。体温上昇を伴わない暑熱順化が進行したといえる。水泳は、春季に比べ夏季のほうが体温差が大きく、十分に汗をかき体温調節する身体を獲得したサッカーに比べ、水泳では十分に汗をかけていないことが推察される。

図6. 種目別の体温の季節変化

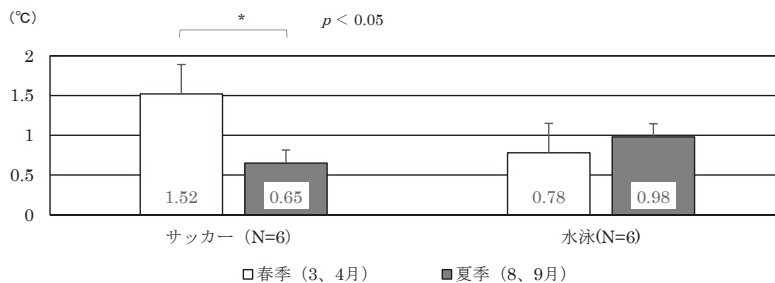
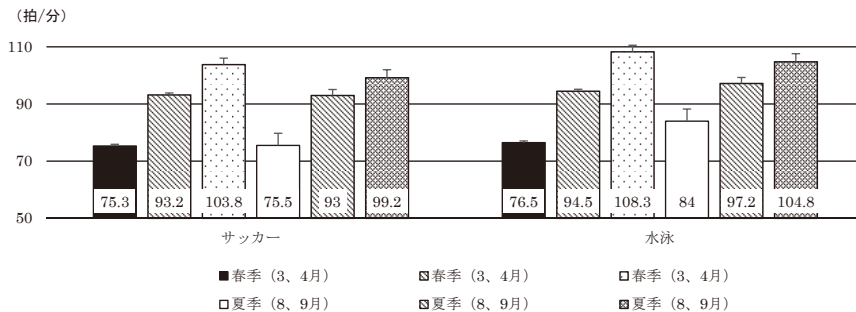


図7. は、種目別の平均心拍数の季節変化を示すものである。サッカーの暑熱負荷直前心拍数は、春季（3、4月）は75.33±9.40拍/分、夏季（8、9月）は75.50±8.60拍/分であった。暑熱負荷直後心拍数は、春季は、103.80±9.65拍/分、夏季は、99.17±9.20拍/分であった。春季の上昇の程度は26.00±6.96拍/分、夏季は23.67±6.53拍/分であった。水泳の暑熱負荷直前心拍数は、春季は、76.50±6.75拍/分、夏季は、84.00±9.65拍/分であった。暑熱負荷直後心拍数は、春季は108.33±9.00拍/分、夏季は104.83±5.27拍/分であった。春季の上昇の程度は31.83±10.11拍/分、夏季は20.83±10.68拍/分であった。

水泳に比べ、サッカーが春季の心拍数の差は小さい。夏季は逆にサッカーが水泳より心拍数の差が大きい。サッカーは夏季が春季に比べ心拍数の差が小さい。統計的には有意な差は認められなかったが、心拍数を上昇させずに外部環境に対する体温調節能力を変化させた。

サッカーと水泳を比較し、どちらの種目が暑熱順化を促す効果があるのかという問題に対して、夏季の暑熱負荷の前後の心拍数の差は水泳が小さいという特徴から、水泳のほうが暑熱順化は進み、体温上昇を伴わない暑熱順化が水泳よりもサッカーのほうが進行したと考えられる。

図7. 種目別の平均心拍数の季節変化



#### 4. 考 察

本研究は2つの仮説検証を試みた。1つ目の仮説である「こどもの暑熱耐性は季節間で変化する」については、本研究の被験者となった児童の暑熱耐性は季節間で有意に変化した。夏季の暑さに身体が順応し、春季に比べ夏季は暑熱環境下で発汗により体温調節する能力が向上し、汗をかきやすい身体を獲得していることが明らかとなった。成長期のこどもの身体は、春から夏にかけて暑熱順化の反応があることは広く知られている。本研究でもそのこどもの身体の特徴が実証された。

2つ目の仮説「実施種目別で特性がある」については、本研究では、水泳とサッカーを取り上げ実施種目間の関係を比較した。被験者は、二次成長期に差し掛かろうとする時期の児童であり、通常の身体的成長に加え、継続的なスポーツ実施によるトレーニング効果、取り組むスポーツ種目の違いによる暑熱順化の差異について、何らかの違いがあるのではないかと仮説を立てたのだが、水泳とサッカーの種目間で統計的に有意な差は見出すことはできなかった。

しかしながら、体温調節の季節間変化で、水泳は春季よりも夏季に平均体温上昇が高い結果を得た。このことは体温調節力の向上の視点で、水泳の場合、少なくともサッカーに比べ、汗をかく機能が十分に開発されていないことを示唆する資料と考えられる。その意味で、種目別の差の可能性は示唆された。

夏季の体温調節は、主に発汗による蒸発による体温調整が行われるが、陸上の気圧に比べ水中の水圧が発汗を妨げており、その結果、水泳よりもサッカーのほうが、発汗による暑熱順化の進行が進んだと考えられる。また、協力いただいた伊勢原チャンピオンスイムクラブでは、プールの水温を年間通して $30.5\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ に維持しているという。3月から9月にかけて外気温が変化し、暑熱順化が促されるのであるが、伊勢原チャンピオンスイムクラブの児童たちの場合、活動する場の環境（水温）が $30.5\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ と一定に維持されていて、3月から9月にかけて、水泳の活動時間帯は、体温の放熱が、蒸発、放射、伝導、対流が協働して行われたと考えられる。外気温に晒された横浜FCパルピターレの児童たちに比べ、蒸発による体温の放熱の割合が少ないことが考えられる。このような外的環境が、サッカーよりも水泳のほうが汗をかくちからの開発がされなかった理由であると考えられる。このことは、近藤ら（1995）が暑熱耐性に関する運動種目別の傾向について陸上で実施される種目と水中で実施される種目に相違があるという報告と一致する。

本研究の被験者は、成長期の児童であった。うち12人は日常的に運動を継続していた。サッカーであれば週4日以上、1日2時間ほど、水泳であれば週6日以上1日2時間ほど、集中してトレーニングを積んでいた。このように運動していない一般の児童よりも、身体へ強い刺激を与えることにより、運動機能は向上しているものと考えられる。十分に汗をかくちからの向上はトレーニングによる運動能力の向上とも関連があると考えられる。

本研究では、運動種目間で暑熱耐性の向上に違いがありそうだと示唆を示すことはできなかったが、運動種目間の暑熱耐性向上に違いを明確に示すことはできなかった。

今後は、運動種目間の相違が暑熱耐性にどのような影響を与えるのか、より多くのサンプルを確保し、継続的にデータ収集を重ね検討する必要がある。

## 5. 謝 辞

横浜市のサッカークラブ「FCバルピターレ」、伊勢原市の水泳クラブ「チャンピオンズイムクラブ」、伊勢原市在住の小学生、その指導者、ご父母の皆様にご好意ご協力を頂いた。記して謝意を申し上げる。

(注1) 実験実施地の横浜市の3月4月、8月9月の平均気温は、「気象庁横浜市過去の気温」より引用

[http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly\\_s3.php?prec\\_no=46&block\\_no=47670&year=2014&month=3&day=&view=](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_s3.php?prec_no=46&block_no=47670&year=2014&month=3&day=&view=) (2014年12月アクセス)

## 参考文献

- 朝比奈一男：運動生理学、大修館書店、1969
- 井上芳光：高齢者の暑熱寒冷反応に及ぼす体格・有機的体力・日常歩行量・衣服内温度の影響、日本生気象学雑誌31、p189-199
- 井上芳光：老若男女の発汗機能、生活科学研究師、p1-10、2010
- 猪飼道夫：身体運動の生理学、杏林書院、1973
- 黒澤洋一、大城等、岩井伸夫、飯塚俊介、能瀬隆之：環境温度と運動負荷試験時の心拍数、血圧、皮膚血流、米子医誌 J Yonago Med Ass 42、p262-268、1991
- Narihiko Kondo, Takeshi Nishiyasu, Haruo Ikegami : The sweating responses of athletes trained on land and in water、Japanese Journal of Physiology 45、p571-581、1995
- 近藤徳彦：人の体温調整反応、神戸大学発達科学部研究紀要5 (2)、p55-66、1998
- 芝崎学、近藤徳彦、井上芳光：子どもの体温調整特性、人間科学研究3、p20-23 1995
- 芝崎学：暑熱環境下における体温調整、体育の科学64、p461-465 2014
- 田中英登：熱中症予防のための暑熱順化の意義、日本発汗学会 vol20 no2、p88-91 2013
- 都築和代、河崎剛、多屋秀人、植木章三：暑熱環境における少年の体温調整反応に関する研究、人間と生活環境3 (1)、p38-44、1996
- 都築和代：子どもの体温調整機構の特徴、体育の科学64、p472-476 2014
- 中野昭一：運動の仕組みと応用、医歯薬出版株式会社、1982
- 戸苅晴彦、安松幹展、白石安男：暑熱環境下における発育期のサッカー選手の実態調査、平成13年度日本体育協会スポーツ医科学研究報告、p57-63 20015