

# 大学女子なぎなた競技トップ選手の稽古時における 水分の出納とエネルギー消費量

吉田剛一郎<sup>1)</sup>, 脇本 愛<sup>2)</sup>, 和田うらら<sup>3)</sup>, 前阪茂樹<sup>4)</sup>, 東恩納玲代<sup>5)</sup>, 吉武 裕<sup>5)</sup>

## Water balance and energy expenditure in top-level Japanese college female naginata athletes during training

Goichiro YOSHIDA, Ai WAKIMOTO, Urara WADA,  
Shigeki MAESAKA, Akiyo HIGASHIONNA, Yutaka YOSHITAKE

### Abstract

Due to various factors, water balance may vary across seasons. These effects may be particularly prominent in athletes and depend on energy expenditure during training. This study assessed water balance by season for a group of top-level Japanese college female naginata athletes during training. Seven top-level Japanese college female naginata athletes were also evaluated for water balance during their training sessions. Participants were observed over three days for each of their seasons of training, i.e., in spring, summer, and winter, with energy expenditure monitored using the heart rate method. Data regarding the total amount of sweat, sweat rate, amount of water intake, and water intake rate were collected for each season, and the differences were assessed using one-way ANOVA. Seasonal differences were calculated using the amount of sweat and water intake per energy expenditure.

The amount of sweat and sweat rate showed high values in summer, and significant differences were observed between each season ( $p<0.05$ ). A seasonal difference in the amount of water intake and intake rate was also recorded, with high values being shown only in summer ( $p<0.05$ ). A seasonal difference in the amount of dehydration and dehydration rate was also recorded, with low values only in winter ( $p<0.05$ ). No seasonal differences in energy expenditure were evident. Results also indicated that the amount of sweat per energy expenditure showed the highest value in summer, followed by spring and then winter, with a significant difference between all seasons ( $p<0.05$ ). The amount of water intake per energy expenditure differed by season, showing high values in summer ( $p<0.05$ ). The rehydration rate during training was calculated as 39% in spring, 56% in summer, and 43% in winter.

This study's results suggest that for top-level Japanese college female naginata athletes to maintain water balance, increased water intake is essential during training in summer. Moreover, sufficient hydration is necessary post-training in spring, summer, and winter.

**Keywords:** naginata, water balance, energy expenditure, seasonal difference

---

<sup>1)</sup> 鹿屋体育大学スポーツ生命科学系 Faculty of Sports and Life Science, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

<sup>2)</sup> 大阪府立汎愛高等学校 Osaka Prefectural Han-ai High School

<sup>3)</sup> 東京都立城東高等学校 Tokyo Metropolitan Joto High School

<sup>4)</sup> 鹿屋体育大学スポーツ・武道実践科学系 Faculty of Sports and Budo Coaching Studies, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

<sup>5)</sup> 名桜大学人間健康学部 Faculty of Human Health Sciences, Meio University

責任著者：吉田剛一郎 鹿児島県鹿屋市白水町1番地 鹿屋体育大学スポーツ生命科学系 E-mail: yoshida@nifs-k.ac.jp

## 1. はじめに

日本の各種なぎなた術が統合されて競技化した「なぎなた競技」には、「試合」と「演舞」の2つの競技がある。本調査で対象とする試合競技の稽古は、稽古着、袴、面、小手、胴、垂、脛当を身に付けて行われる。装具の総重量は、おおよそ10kgになる。その条件の下、夏季において空調設備のない高温環境下の室内で稽古を行うと、発汗による脱水を呈しやすくなり、競技者に与える負担度は大きくなると考えられる。脱水の原因となる発汗は、夏季に生じやすいと考えられるが、気温の低い冬季の運動時にも生じる（吉田ほか, 2021）。脱水の程度については、発汗にともなう飲水が関与する。これらの水分の出納について、なぎなた競技の稽古において季節を区分して調査した報告はみあたらない。稽古時の水分出納を季節毎に評価する意義としては、まず、脱水予防による安全管理に役立つと考える。次に、稽古におけるパフォーマンスの向上に役立つと考える。さらに、パフォーマンス向上のためのトレーニング効果の効率を高めるために役立つと考える。

脱水による体液の損失は、体温調節系や循環調節系など生体への負担を増大させ（Morimoto, 1990）、運動能力の低下を引き起こす（Yoshida et al., 2002）。運動時の体重の減少は、ほぼ脱水によるものと考えてよい（中井ほか, 2007）。脱水により体重の1~2%が減少すると疲労症状が現れる（Stamford, 1990）。運動によってエネルギー消費量は増加し、代謝にともなって生成した熱の放出のために発汗量は増え、飲水量も増す（中井ほか, 2007; 吉田ほか, 2021）。発汗量と飲水量がエネルギー消費量に応じて変動する状況において、水分出納の季節による違いを検討する際には、その比較のために、エネルギー消費量の影響を考慮して検討する必要がある。

エネルギー消費量の測定について、フィールドで実施できる間接法のうち、二重標識水（doubly labeled water）法（Schoeller and van Santen, 1982）は、その分析が日当たりとなるため、本調査のよ

うな数時間単位の測定には適さない。活動量計を用いる手法について、歩数計は測定できる動作が限られ（Kashiwazaki et al., 1986）、歩数計も加速度計も動きをとまわらない動作のエネルギー消費量は正確に把握できないなどの問題がある（Haskell et al., 1993; Montoye et al., 1983）。質問紙・記録紙を用いる手法は、煩雑さに加えて主観的であり、精度は劣る（Washburn et al., 1990）。それ故、フィールド調査において、比較的短時間における、強度の高い運動に対するエネルギー消費量を測定するには、対象者の酸素摂取レベルを基準とした心拍数法を用いることが、推定法として最も有効な手法であると考え（Montoye et al., 1996）、本調査において適用した。

本調査では、大学女子なぎなた競技トップ選手を対象に、季節毎に稽古時における水分の出納を調査し、エネルギー消費量あたりの発汗量と飲水量を示すことにより、季節による違いを検討した。エネルギー消費量に基づいた季節変化を考慮して、科学的に確立された水分出納の新しいパラメーターを示した。なぎなた競技稽古時における水分出納の重要性について議論し、得られたパラメーターを如何に活用するかについて示すことを目的とした。

エネルギー消費量に基づいたトレーニング中の水分出納については、カヌースプリント競技において夏季、春季、冬季の順に有意な高値を示すことが報告されている（吉田ほか, 2021）。カヌースプリント競技における調査は、屋外環境において実施されたものであり、なぎなた競技を対象とした本調査は、空調設備のない屋内環境下で実施されるものである。それ故、仮説として、重い装具を身に着けてのなぎなた競技の稽古では、とくに夏季における多量の発汗と高い発汗率が予測される。それにともない、夏季における飲水の不足が予測される。

## 2. 方法

### 2-1. 対象者と手続き

対象者は、体育系大学のなぎなた部に所属する女性7名であった。対象者の年齢は、 $20.9 \pm 1.2$ 歳であった。対象者は、全員が全日本学生なぎなた選手権大会の出場経験を有し、個人の部優勝、団体の部準優勝の成績に貢献した選手を含む、トップレベルの選手であった。対象者の稽古前後の体重、および稽古前体重を用いて算出した body mass index は、表1に示すとおりである。調査の

実施に際しては、候補者に十分な説明を行い、同意書により参加の同意が得られた選手を対象者とした。本調査は、文部科学省、厚生労働省、および経済産業省により制定された人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針、ヘルシンキ宣言、および鹿屋体育大学研究倫理指針（ヒトに関する研究）を遵守し、鹿屋体育大学倫理審査委員会の承認（第9-20号）を得て実施されたものである。

表1. 大学女子なぎなた競技トップ選手の稽古時における季節毎の水分の出納とエネルギー消費量

	春季 (n=7)	夏季 (n=7)	冬季 (n=7)
稽古前体重 (kg)	57.3 ± 7.6	56.7 ± 6.8	56.6 ± 7.0
稽古後体重 (kg)	56.8 ± 7.5	55.9 ± 7.0	56.4 ± 7.0
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	22.7 ± 2.4	22.4 ± 2.2	22.4 ± 2.2
発汗量 (g)	817 ± 155	1,765 ± 346*	483 ± 103 <sup>†, ‡</sup>
発汗率 (%)	1.43 ± 0.20	3.15 ± 0.68*	0.85 ± 0.15 <sup>†, ‡</sup>
飲水量 (g)	319 ± 78	984 ± 325*	206 ± 118 <sup>‡</sup>
飲水率 (%)	0.56 ± 0.11	1.73 ± 0.51*	0.35 ± 0.18 <sup>‡</sup>
脱水量 (g)	498 ± 119	781 ± 357	276 ± 113 <sup>†, ‡</sup>
脱水率 (%)	0.87 ± 0.18	1.41 ± 0.70	0.50 ± 0.21 <sup>†, ‡</sup>
水分補給率 (%)	39.0 ± 7.1	55.6 ± 14.3*	43.3 ± 23.2
エネルギー消費量 (kcal)	613 ± 124	668 ± 143	638 ± 174
発汗量 / エネルギー消費量 (g/kcal)	1.41 ± 0.51	2.73 ± 0.54*	0.85 ± 0.38 <sup>†, ‡</sup>
飲水量 / エネルギー消費量 (g/kcal)	0.57 ± 0.26	1.53 ± 0.58*	0.38 ± 0.29 <sup>†, ‡</sup>
稽古時間 (min)	156 ± 2	148 ± 2*	155 ± 1 <sup>‡</sup>
発汗量 / 稽古時間 (g/min)	5.25 ± 1.01	11.97 ± 2.32*	3.13 ± 0.69 <sup>†, ‡</sup>
飲水量 / 稽古時間 (g/min)	2.06 ± 0.50	6.67 ± 2.23*	1.35 ± 0.77 <sup>‡</sup>
エネルギー消費量 / 稽古時間 (kcal/min)	3.93 ± 0.77	4.52 ± 0.95	4.13 ± 1.11

各項目における季節差は、対応のある ANOVA を用いて評価し、その後の検定として Bonferroni 法による多重比較を行った。季節間の有意差は、以下に示すとおりである。\* p<0.05, 春季 vs. 夏季; † p<0.05, 春季 vs. 冬季; ‡ p<0.05, 夏季 vs. 冬季。

## 2-2. 調査方法

本調査は、気候に変動のある四季をとおして実施されたものであり、毎日の気温変動がある中、その区分として季節を用いた。気象庁によると、季節の基準の中に気温は示されず、季節の基準について春季は3月から5月、夏季は6月から8月、秋季は9月から11月、冬季は12月から2月と期間により定められる(気象庁, online)。水分の出納とエネルギー消費量の調査は、同年のうち、春季は4月下旬、夏季は8月下旬、冬季は2月中旬における稽古日を対象とした。稽古は、1日に1回行われ、それぞれの季節において3日間ずつ調査を行った。秋季は、長期間におよぶ試合と遠征により測定が困難であったため調査から除いた。調査時の環境温度と湿度の測定は、稽古場所(体育館)にデジタル温湿度計(YTM-003, オーム電機)を設置して観測した(表2)。本調査は、空調設備のない稽古環境下で実施されたものである。

## 2-3. 水分の出納

発汗量は、稽古前後の体重を測定し、体重の増減から求めた。体重測定には、デジタル体重計(UC-321, エー・アンド・デイ)を使用した。デジタル体重計の最小目盛りは、50gであった。体重は、汗をよく拭き取り、下着のみを着用して測定した。飲料について、糖質や塩分が混入すると飲水量は変動するため(中井ほか, 1993)、飲料には水道水のみを用いた。飲水量の測定について、まず、水道水を飲料ボトルに入れて重量測定を行った。次に、その飲料ボトルを稽古前に対象

者に配布して自由に水を摂取させ、稽古後に回収して残重量を測定することにより飲水量を求めた。飲料ボトルの重量測定には、デジタルクッキングスケール(KD-812, タニタ)を使用した。デジタルクッキングスケールの最小目盛りは、1gであった。本調査において示す発汗量、体重あたりの発汗量(発汗率)、飲水量、体重あたりの飲水量(飲水率)、脱水量、体重あたりの脱水量(脱水率)、および発汗量に対する飲水量(水分補給率)の算出方法は、以下に示すとおりである(吉田ほか, 2021)。

- ・発汗量(g): (稽古前体重 + 飲水量) - 稽古後体重
- ・体重あたりの発汗量(発汗率)(%): 発汗量 / 稽古前体重 × 100
- ・飲水量(g): 稽古前飲料ボトル重量 - 稽古後飲料ボトル重量
- ・体重あたりの飲水量(飲水率)(%): 飲水量 / 稽古前体重 × 100
- ・脱水量(g): 稽古前体重 - 稽古後体重
- ・体重あたりの脱水量(脱水率)(%): 脱水量 / 稽古前体重 × 100
- ・発汗量に対する飲水量(水分補給率)(%): 飲水量 / 発汗量 × 100

## 2-4. エネルギー消費量の測定

稽古時のエネルギー消費量は、心拍数法を用いて測定した(Wilmore and Haskell, 1971)。対象者の稽古時における心拍数は、心拍数計(RS800, ポラール・エレクトロ・ジャパン)を胸部に装着して測定した。エネルギー消費量の測定に際し

表2. 大学女子なぎなた競技トップ選手の稽古時における季節毎の環境温度と湿度

	春季 (n=3)	夏季 (n=3)	冬季 (n=3)
環境温度 (°C)	20.9 ± 1.5	29.4 ± 0.9	12.2 ± 0.2*
湿度 (%)	60.0 ± 12.2	78.0 ± 1.0	52.7 ± 4.0

各項目における季節差は、Kruskal-Wallis 検定を用いて評価し、その後の検定として Dunn-Bonferroni 法による多重比較を行った。季節間の有意差は、以下に示すとおりである。\* p<0.05, 夏季 vs. 冬季。

では, まず, 対象者個人の心拍数と酸素摂取量との関係を求めるため, 対象者毎に自転車エルゴメーター (エアロバイク75XL III, コンビウエルネス) を用いて, 運動負荷漸増試験 (Åstrand and Rodahl, 1970) を実施した. 運動負荷漸増試験は, 安静状態より開始し, 運動負荷強度を4分毎に20ワットずつ漸増させて, 各段階における最終1分間の呼気をダグラスバッグに採取した. 採取した呼気は, 生体ガス分析用質量分析システム (ARCO-1,000A, アルコシステム) (Li et al., 2006) を用いて, 標準ガスによる校正を行った後, 酸素濃度および二酸化炭素濃度を測定した. ダグラスバッグ中の呼気量と呼気温度は, 乾式ガスメーター (DC-2, シナガワ) を用いて測定した. 運動負荷漸増試験中は, 対象者に対して逐次, 主観的運動強度 (rating of perceived exertion) を確認し, 心拍数の確認を行いながら, 対象者の最大努力に至るまで試験を継続した. 次に, 対象者毎に得られた心拍数と酸素摂取量について回帰式 (Consolazio et al., 1971) を作成した. その回帰式に, 当該対象者の練習時の心拍数を適用し, 毎分あたりの酸素摂取量を算出した. 摂取された酸素は, 基質の酸化に利用され, 5.0kcal/Lの熱量を発する (Balady et al., 2000) ものとして, 稽古時におけるエネルギー消費量を算出した.

## 2-5. 統計処理

測定データは, 平均値±標準偏差 (SD) で示した. 表1に示す稽古前後の体重, BMI, 水分出納に関する各項目, エネルギー消費量, 稽古時間に関するデータは, 各季節3日分の平均を1名の代表値として算出し, 7名について分析した結果を示した. 表1の各項目における季節差は, 対応のある一元配置分散分析法 (ANOVA) を用いて評価し, その後の検定として Bonferroni 法による多重比較を行った. 効果量の算出は, イータ二乗 ( $\eta^2$ ) を使用した.  $\eta^2$  の解釈については, 0.14を効果量大, 0.06を効果量中, 0.01を効果量小とした (水本ほか, 2008). 環境温度と湿度の季節差は,

Kruskal-Wallis 検定を用いて評価し, その後の検定として Dunn-Bonferroni 法による多重比較を行った. 以上の解析には, SPSS Statistics 28 (IBM) を使用し, 有意水準は5% (両側検定) とした.

## 3. 結果

### 3-1. 稽古時の心拍数

本調査の冬季における大学女子なぎなた競技トップ選手1名分の稽古時における心拍数の変化例は, 図1に示すとおりである. 稽古は, 体操に始まり, 打ち返しと基本稽古, フットワーク, 自由稽古, および円陣稽古から構成された. 心拍数は, 稽古内容に応じて高低を繰り返す変動を示した. この対象者の総稽古時間は160分であり, その時の心拍数は,  $120 \pm 24$  beats/min であった. 最大心拍数は, 186 beats/min であった. この稽古時のエネルギー消費量は, 心拍数法を用いて算出すると555kcalであった. 稽古時の心拍数について, 上記対象者1名以外の他の6名の心拍数は, 対象者全員が同様の稽古を行っていたため, 心拍変動は稽古内容に相応して図1と同様のパターンを示し, 振幅には個人差が認められた. 対象者全体のなぎなた競技稽古時における平均心拍数の推移は, 図2に示すとおりである. 稽古時の平均心拍数は, 開始時の体操では80beats/min程度を示したが, 終了時の円陣稽古では140beats/min程度と上昇傾向を示した.

### 3-2. 季節毎の水分の出納

大学女子なぎなた競技トップ選手の稽古時における季節毎の水分の出納とエネルギー消費量について調査した結果は, 表1に示すとおりである. 発汗量の季節による違い (季節差) について, 全ての季節間で季節差を認めた ( $p < 0.05$ ,  $\eta^2 = 0.92$ ). 夏季の発汗量の平均値は1,765gを示したのに対して, 冬季の発汗量は483gであり, 夏季は冬季のおおよそ3.7倍となる発汗量を示した. 発汗率は, 夏季の平均値3.15%を最高に, 春季, 冬季と低下する季節差を示した ( $p < 0.05$ ,  $\eta^2 = 0.92$ ). 飲水量

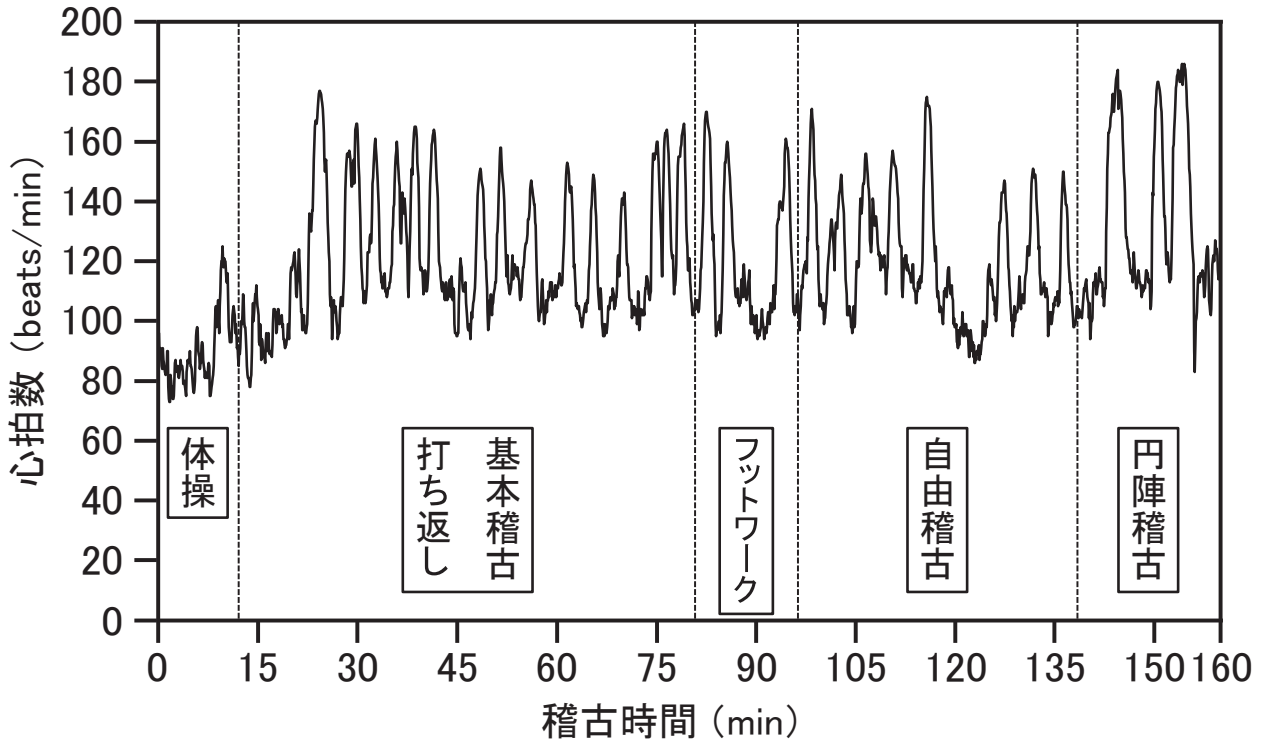


図1. 大学女子なぎなた競技トップ選手の稽古時における心拍数の変化例. 冬季の稽古について, 全日本学生なぎなた選手権大会個人の部において優勝経験を有する対象者の心拍数の変化例を示す. 稽古は, ウォーミングアップとなる体操から始まる. 打ち返しは, 振り上げ, 持ち替え, 打突時の手の内などのなぎなた操作と体さばき, および一連の呼吸を練習する稽古法である. 基本稽古は, 正面, 側面など基本となる6つの技を2回行う稽古法である. フットワークは, 足さばきを練習する稽古法である. 自由稽古は, お互いに対等な立場で攻め合う稽古法である. 円陣稽古は, 円になり, 一人が全員と対処する稽古法である.

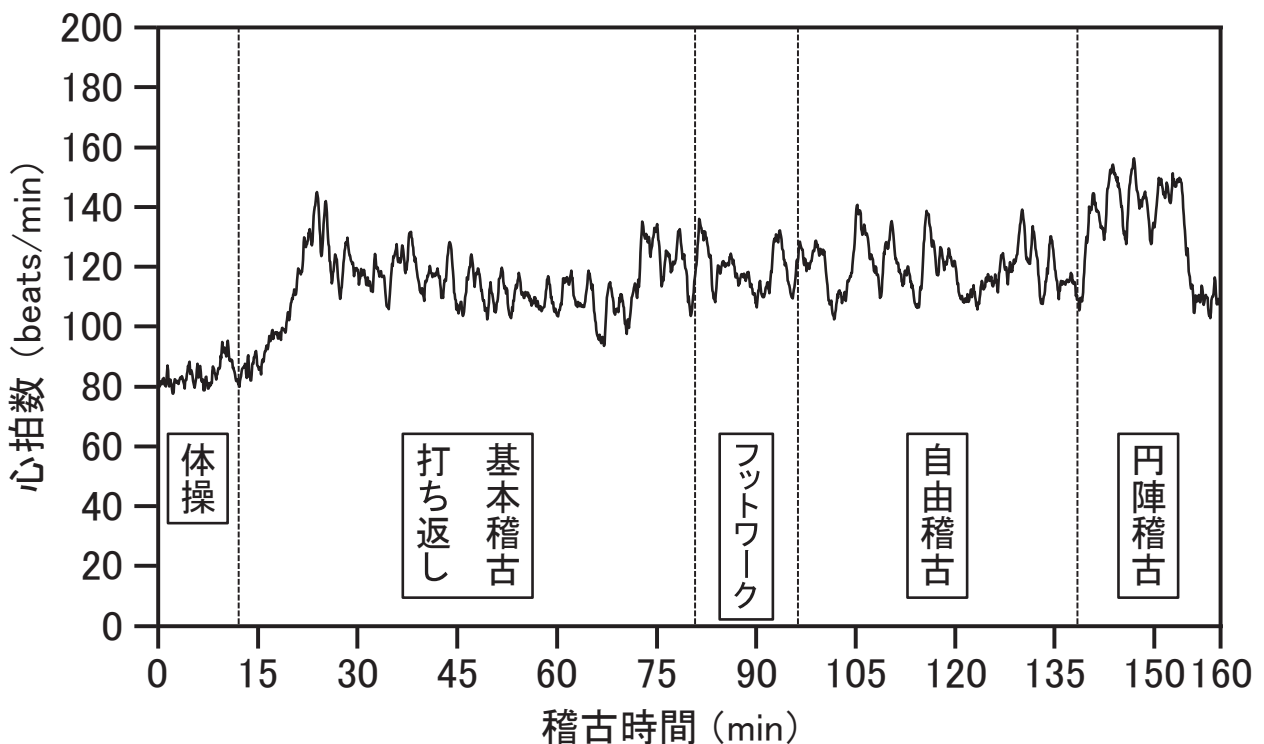


図2. 対象者全体のなぎなた競技稽古時における平均心拍数の推移

について, 夏季は平均値984gを示したのに対して, 冬季の飲水量は206gであり, 夏季は冬季のおおよそ4.8倍となる飲水量を示した ( $p < 0.05, \eta^2 = 0.89$ ). 飲水率についても, 夏季の平均値1.73%を高値とする季節差を示した ( $p < 0.05, \eta^2 = 0.90$ ). 脱水量 ( $p < 0.05, \eta^2 = 0.62$ ) と脱水率 ( $p < 0.05, \eta^2 = 0.62$ ) は, 発汗と飲水に相応して, 夏季は冬季のおおよそ2.8倍となる季節差を示した. 水分補給率は, 夏季の平均値55.6%と春季39.0%との間に季節差を認めた ( $p < 0.05, \eta^2 = 0.35$ ).

### 3-3. エネルギー消費量あたりの発汗量と飲水量

稽古時の心拍数を基に, 季節毎の稽古時におけるエネルギー消費量を心拍数法により求めた. その結果, 稽古1回あたり, 春季は平均値613kcal, 夏季は668kcal, 冬季は638kcalを示し, エネルギー消費量に季節差は認めなかった(表1). エネルギー消費量あたりの発汗量は, 春季, 夏季, および冬季の各季節間で季節差を認めた ( $p < 0.05, \eta^2 = 0.97$ ). とくに, 夏季のエネルギー消費量あたりの発汗量は, 平均値2.73g/kcalを示したのに対して, 冬季は0.85g/kcalであり, 夏季は冬季のおおよそ3.2倍となるエネルギー消費量あたりの発汗量を示した. エネルギー消費量あたりの飲水量についても, 春季, 夏季, および冬季の各季節間で季節差を認めた ( $p < 0.05, \eta^2 = 0.91$ ). 夏季のエネルギー消費量あたりの飲水量は, 平均値1.53g/kcalを示したのに対して, 冬季は0.38g/kcalであり, 夏季は冬季のおおよそ4.0倍となるエネルギー消費量あたりの飲水量を示した.

### 3-4. 稽古時間あたりの発汗量と飲水量

稽古時間について, 春季は平均値156min, 夏季は148min, 冬季は155minを示し, 夏季は, 他の季節と比較して短い稽古時間を示した ( $p < 0.05, \eta^2 = 0.95$ ) (表1). 稽古時間あたりの発汗量は, 春季, 夏季, および冬季の各季節間で季節差を認めた ( $p < 0.05, \eta^2 = 0.93$ ). とくに, 夏季の稽古時間あたりの発汗量は, 平均値11.97g/minを示した

のに対して, 冬季は3.13g/minであり, 夏季は冬季のおおよそ3.8倍となる稽古時間あたりの発汗量を認めた. 稽古時間あたりの飲水量についても, 夏季と春季, 夏季と冬季との間に季節差を認めた ( $p < 0.05, \eta^2 = 0.89$ ). 夏季の稽古時間あたりの飲水量は, 平均値6.67g/minを示したのに対して, 冬季は1.35g/minであり, 夏季は冬季のおおよそ4.9倍となる稽古時間あたりの飲水量を示した.

### 3-5. 稽古時間あたりのエネルギー消費量

季節毎に, 稽古時間あたりのエネルギー消費量を検討した結果は, 表1に示すとおりである. 稽古時間あたりのエネルギー消費量の平均値は, 春季3.93kcal/min, 夏季4.52kcal/min, 冬季4.13kcal/minとなり, 夏季に高値を示す傾向はあるが, 統計的に季節差は認めなかった.

## 4. 考察

本調査では, 大学女子なぎなた競技トップ選手の稽古時における水分の出納について, エネルギー消費量あたりの発汗量と飲水量を算出し, 季節による違いを検討した.

稽古1回あたりのエネルギー消費量をみると, 春季は平均値613kcal, 夏季は668kcal, 冬季は638kcalを示した(表1). 本調査における, 季節毎のエネルギー消費量については, 統計的に季節差を認めなかった. その理由としては, 季節間で稽古内容に大幅な変更がなかったことによるものと考えられる. エネルギー消費量あたりの発汗量と飲水量は, 夏季, 春季, 冬季の順に高値を示し, いずれの季節間においても有意な相違を認めた. エネルギー消費量あたりの発汗量と飲水量について示された季節差は, 環境, とくに気候の要因により影響を受けた可能性が大きい. 発汗は, 環境温度の高い時に促進される(久野, 1975)ため, 気候の要因の中では, とくに気温が与えた影響は大きいと考える.

エネルギー消費量あたりの発汗量の詳細につい

て、夏季の平均値2.73g/kcalを最高に、春季1.41g/kcal、冬季0.85g/kcalと低下する季節差を示した(表1)。この季節差の傾向は、大学カヌースプリント競技において調査された結果と同様であった(吉田ほか, 2021)。その中で、本稿に示すなぎなた競技においては、とくに夏季におけるエネルギー消費量あたりの発汗量は、大学カヌースプリント競技における調査結果(夏季1.44g/kcal)(吉田ほか, 2021)と比較して、1.9倍となる高値を示した。エネルギー消費量あたりで示した個別値は、季節毎に、エネルギー消費量が異なったときの発汗量を予測し、摂取すべき飲水量の指標になると考える。実際の飲水量の平均値は、夏季1.53g/kcal、春季0.57g/kcal、冬季0.38g/kcalであり、いずれの季節もエネルギー消費量あたりの発汗量と比較すると差がある(表1)。

本稿では、稽古時間あたりの発汗量と飲水量についても検討を行った。稽古時間あたりの発汗量は、夏季、春季、冬季の順に高値を示し、いずれの季節間においても有意な相違を認めた。稽古時間あたりの飲水量は、夏季のみ高値を示す季節差を認めた。すなわち、稽古時間あたりの発汗量と飲水量における季節差は、エネルギー消費量あたりの発汗量と飲水量の季節差と比較して、同様の傾向を示した。しかしながら、運動時の発汗量と飲水量について季節による違いを検討する際に、稽古時間あたりで評価する手法には限界があると考えられる。本調査に示すとおり、稽古時間は夏季に有意に短い季節差を示したが、エネルギー消費量については季節差を認めなかった(表1)。これは、稽古時間あたりのエネルギー消費量が、夏季に高値を示す傾向にあったことに起因すると考えられる(表1)。また、稽古時に動作をとまなわない、見学や長時間のディスカッションが行われた場合は、発汗量と飲水量を時間あたりで評価すると精度は失われる。本調査は、稽古時に見学や長時間のディスカッションを含まない稽古を対象とした故、稽古時間あたりの発汗量と飲水量の季節差は、エネルギー消費量あたりの調査と同

様の結果を示したと考える。

米国スポーツ医学会(American College of Sports Medicine: ACSM)による、スポーツ活動時の飲水の指針では、体重の2%以上が失われることがないように飲水を行うことが示され、定期的に、機会ある毎に飲水を行うことが奨励されている(American College of Sports Medicine et al., 2007)。本調査におけるなぎなた競技の稽古時について、夏季の発汗率の平均値は3.15%を記録し、飲水を行っても脱水率は1.41%を示した。これらは、大学カヌースプリント競技の練習時における発汗率と比較するとおおよそ2.0倍、脱水率はおおよそ1.7倍となる高率を示し(吉田ほか, 2021)、ACSMによる飲水の指針の上限に近い活動であったと考える。本調査では、夏季に空調設備のない稽古場所(体育館)で稽古を行っていたため、脱水を呈しやすい環境下にあったことが要因として考えられる。また、発汗速度、総発汗量、および発汗開始の閾値からみた運動時の発汗反応は、夏季に高い季節変動を呈する(鳥井ほか, 1991)ことも要因として考えられる。春季の発汗率の平均値は1.43%であったが、飲水を考慮した脱水率は0.87%を示した。冬季の発汗率の平均値は0.85%、脱水率は0.50%と、夏季、春季と比較すると低率を示した。脱水率については、夏季について、疲労が現れるとされる1%を超えていた(Stamford, 1990)。運動時における脱水の影響の一つとして、筋持久力、筋力、無酸素性パワーの喪失が報告されている(Savoie et al., 2015)。なぎなた競技においては、瞬時の判断の遅れや間違いが競技成績に影響をおよぼす。なぎなた競技における脱水について危険視する報告は少ないが、事故を惹起する可能性も考えられることから、適時な飲水が必要と考える。

大学女子なぎなた競技トップ選手の稽古時の発汗量に対する飲水量の関係から水分補給率を求めると、春季はおおよそ39%、夏季は56%、冬季は43%を示した(表1)。水分補給率からみると、稽古時は水負債の状態にある(久野, 1975)。こ



これらの水分補給率をみると、発汗時に水を補給した際に生じる飲水行動の停止と排尿を促す自発的脱水 (Rothstein et al., 1947) の閾値 (水分補給率約60%) には至っていない (中井ほか, 1993; 吉田ほか, 2021)。すなわち、いずれの季節も稽古時に飲水を行う余地がある中、脱水率が1%を超えた夏季については、さらなる飲水が必要と考える。

稽古時に飲水が重要なことは当然であるが、稽古後の飲水も重要である。ACSMの指針では、運動後の飲水について、失われた水分を完全に置換することを目標としている (American College of Sports Medicine et al., 2007)。本対象者については、いずれの季節も脱水を示したことから、からだの水分を正常化した状態で運動を開始するために (American College of Sports Medicine et al., 2007)、とくに稽古後については、いずれの季節においても、体重の減少した分の飲水は必要と考える。

本調査は、なぎなた競技チームとして、飲水に対する方針を定めない中で実施された。本調査で得られたパラメータを活用し、安全管理およびパフォーマンス向上に役立てるためには、チームとして飲水に対する方針を定めることを提案する。まず、稽古前は、コップ1~2杯 (200~400 ml) の飲水を行うことが奨励される。稽古時は、チームとして統率を図って飲水を行うことが大切である。たとえば、夏季の稽古時は、チームで20分毎に飲水タイムを設けて、コップ1杯の飲水を行う。本調査に適用して考えると、夏季のエネルギー消費量あたりの飲水量は、おおよそ2.2g/kcalとなる。また、夏季の脱水率は、1%以内となる。稽古後は、通常の体重に戻るよう飲水を行う。すなわち、水分出納のバランスを維持するためには、チームとして、飲水に対する方針を定めることが重要と考える。

本調査における限界として、第一に酸素摂取量の変化は心拍数の変化より遅れる (Pendergast et al., 1980) ため、心拍数法でエネルギー消費量を算定した場合、図1に示すような瞬発的な動作を

繰り返した際には、エネルギー消費量が高く推定された可能性がある。第二に100beats/min以下の心拍数域では、心理的な要因により、エネルギー消費量が心拍数の変化と必ずしも同期しなかった可能性がある。第三に環境温度の変化により心拍数は変化するため、エネルギー消費量が夏季は高く、冬季は低く推定された可能性がある。第四に本調査は、対象者の心身に非常に大きなストレスをかけることを考慮し、期間内に一度、11月のみ運動負荷漸増試験を実施し、そこから求めた心拍数と酸素摂取量の回帰式を、通年の各季節におけるエネルギー消費量の算出に適用した。そのため、季節およびトレーニングによる酸素摂取量の変化を心拍数により捉えきれておらず、エネルギー消費量の推定に誤差が生じた可能性がある。最大酸素摂取量の季節差については、一定の見解が得られておらず、季節差は認めないとする報告 (宮下・北川, 1977)、年間平均値に対する変動率は10月から11月にかけて少ないとする報告 (島岡ほか, 1979)、季節による運動量の相違に依存するとする報告 (山地, 1992) がある。また、季節毎の酸素摂取量の推定誤差は最大9%程度 (島岡ほか, 1979) との報告もみられる。一方、トレーニングによる最大酸素摂取量の影響については、女性トップアスリートにおいて、トレーニングにより最大酸素摂取量は年間に最大5%程度変化することが示されている (山地, 1985)。これらのことから、本調査の期間中において心拍数と酸素摂取量における回帰式は変化した可能性がある。第五に本調査は、空調設備のない稽古環境でのデータのみを示しており、本調査結果を普遍的に利用する上での限界点と考える。

## 5. 結論

大学女子なぎなた競技のトップ選手を対象として、季節毎に稽古時における水分の出納を調査し、エネルギー消費量あたりの発汗量と飲水量を示すことにより、季節による違いを検討した。エネルギー消費量あたりの発汗量と飲水量は、夏

季, 春季, 冬季の順に高値を示し, いずれの季節間においても有意な相違を認めた. 稽古時の水分補給率は, おおよそ春季39%, 夏季56%, 冬季43%を示した. 本調査に示す大学女子なぎなた競技トップ選手において, 稽古時については夏季に, 稽古後については, 春季, 夏季, 冬季ともに, さらなる飲水の必要性を認めた.

## 文献

- American College of Sports Medicine, Sawka, M. N., Burke, L. M., Eichner, E. R., Maughan, R. J., Montain, S. J., and Stachenfeld, N. S. (2007) American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39(2): 377-390.
- Åstrand, P. O. and Rodahl, K. (1970) *Textbook of work physiology*. McGraw-Hill: New York, pp.277-318.
- Balady, G. J., Berra, K. A., Golding, L. A., Gordon, N. F., Mahler, D. A., Myers, J. N., and Sheldahl, L. M. (2000) Metabolic calculations. In: Franklin, B. A., et al. (eds.) *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (6th ed.). Lippincott Williams and Wilkins: Baltimore, pp.300-301.
- Consolazio, C. F., Nelson, R. A., Daws, T. A., Krzywicki, H. J., Johnson, H. L., and Barnhart, R. A. (1971) Body weight, heart rate, and ventilatory volume relationships to oxygen uptakes. *Am. J. Clin. Nutr.*, 24(9): 1180-1185.
- Haskell, W. L., Yee, M. C., Evans, A., and Irby, P. J. (1993) Simultaneous measurement of heart rate and body motion to quantitate physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25(1): 109-115.
- Kashiwazaki, H., Inaoka, T., Suzuki, T., and Kondo, Y. (1986) Correlations of pedometer readings with energy expenditure in workers during free-living daily activities. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 54(6): 585-590.
- 気象庁 (online) 時に関する用語. [https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo\\_hp/toki.html](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/toki.html), (参照日2022年12月6日).
- 久野寧 (1975) 汗の話 (8版). 光生館: 東京, pp.46-101.
- Li, M. X., Yoshida, G., Horiuchi, M., Kobayashi, K., and Saheki, T. (2006) Prolonged effect of single carnitine administration on fasted carnitine-deficient JVS mice regarding their locomotor activity and energy expenditure. *Biochim. Biophys. Acta*, 1761(10): 1191-1199.
- 宮下充正・北川薫 (1977) 春夏秋冬に測定した最大酸素摂取量. 日本体育学会第28回大会号, 260.
- 水本篤・竹内理 (2008) 研究論文における効果量の報告のために—基礎的概念と注意点—. *英語教育研究*, 31: 57-66.
- Montoye, H. J., Kemper, H. C. G., Saris, W. H. M., and Washburn, R. A. (1996) Measuring physical activity and energy expenditure. *Human Kinetics: Illinois*, pp.15-118.
- Montoye, H. J., Washburn, R., Servais, S., Ertl, A., Webster, J. G., and Nagle, F. J. (1983) Estimation of energy expenditure by a portable accelerometer. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 15(5): 403-407.
- Morimoto, T. (1990) Thermoregulation and body fluids: role of blood volume and central venous pressure. *Jpn. J. Physiol.*, 40(2): 165-179.
- 中井誠一・寄本明・岡本直輝・森本武利 (1993) アメリカンフットボール練習時の発汗量と水分摂取量の実態. *臨床スポーツ医学*, 10(8): 973-977.
- 中井誠一・寄本明・芳田哲也 (2007) 高温環境と生体機能・高温環境の運動衛生. 森本武利監, 中井誠一ほか編, *高温環境とスポーツ・運動: 熱中症の発生と予防対策*. 篠原出版新社: 東京, pp.7-58.
- Pendergast, D. R., Shindell, D., Cerretelli, P., and Rennie, D. W. (1980) Role of central and peripheral circulatory adjustments in oxygen transport at the

- onset of exercise. *Int. J. Sports Med.*, 1(4): 160-170.
- Rothstein, A., Adolph, E. F., and Wills, J. H. (1947) Voluntary dehydration. In: Adolph, E. F. and Associates (eds.) *Physiology of man in the desert*. Interscience Publishers: New York, pp.254-270.
- Savoie, F. A., Kenefick, R. W., Ely, B. R., Chevront, S. N., and Goulet, E. D. (2015) Effect of hypohydration on muscle endurance, strength, anaerobic power and capacity and vertical jumping ability: a meta-analysis. *Sports Med.*, 45: 1207-1227.
- Schoeller, D. A. and van Santen, E. (1982) Measurement of energy expenditure in humans by doubly labeled water method. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.*, 53(4): 955-959.
- 島岡清・宮村実晴・松井秀治 (1979) 最大酸素摂取量の季節変動について. *総合保健体育科学*, 2(1): 49-56.
- Stamford, B. (1990) How to avoid dehydration. *Phys. Sportsmed.*, 18(7): 135-136.
- 鳥井正史・山崎昌廣・佐々木隆・中山英明 (1991) 運動時全身発汗応答の季節変動からみた体温調節機能の特性. *生理人類誌*, 10(3): 163-170.
- Washburn, R. A., Goldfield, S. R., Smith, K. W., and McKinlay, J. B. (1990) The validity of self-reported exercise-induced sweating as a measure of physical activity. *Am. J. Epidemiol.*, 132(1): 107-113.
- Wilmore, J. H. and Haskell, W. L. (1971) Use of the heart rate-energy expenditure relationship in the individualized prescription of exercise. *Am. J. Clin. Nutr.*, 24(9): 1186-1192.
- 山地啓司 (1985) 一流スポーツ選手の最大酸素摂取量. *体育学研究*, 30(3): 183-193.
- 山地啓司 (1992) 最大酸素摂取量の科学. 杏林書院: 東京, pp.175-176.
- 吉田剛一郎・岩間茜・坂田 (豊道) 美徳・中村夏実・榮樂洋光・東恩納玲代・赤嶺卓哉・吉武裕 (2021) 大学カヌースプリント競技トップ選手の練習時における水分の出納—エネルギー消費量の影響を調整して季節による違いを検討したプレスタディー. *栄養学雑誌*, 79(2): 103-111.
- Yoshida, T., Takanishi, T., Nakai, S., Yorimoto, A., and Morimoto, T. (2002) The critical level of water deficit causing a decrease in human exercise performance: a practical field study. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 87(6): 529-534.