高温環境下における剣道の稽古着と防具の 着用が脱水に及ぼす影響

和久貴洋* 松田光生** 芳賀脩光**

Effects of kendo uniform and protectors in hot environment on dehydration during exercise

Takahiro Waku*, Mitsuo Matsuda**, Shukoh Haga**

Abstract

To study the effects of kendo uniform and protectors in a hot environment on dehydration during exercise, we compared two conditions; 30 min exercise with and without kendo uniform and protectors. Five male college kendo fencers performed modelately severe kendo practice at dry bulb temperatures of $30.2 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ and wet bulb temperatures of $24.9 \pm 2.1^{\circ}\text{C}$. Other five fencers performed bicycle exercise designed to the same intensity as kendo practice at dry bulb temperatures of $36.5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ and wet bulb temperatures of $27.0 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$. After both exercises, body weight was significantly decreased, and hematocrit, serum total protein concentration, and heart rate were significantly increased. In kendo practice, however, the decrease in body weight and the increases in hematocrit and serum total protein concentration were significantly higher than those in bicycle exercise. There is no significant difference in the change in heart rate between kendo and bicycle exercises. We conclude that exercise with kendo uniform and protectors in hot environment results in marked dehydration and plasma volume loss, by the increase in sweat, which may be caused by insulation of heat dissipation and/or added heat production by the weight of protectors, and that the improvement of kendo uniform and protectors may prevent marked dehydration and plasma volume loss, and, consequently, heat stroke.

Key words : Kendo, uniform, protector, dehydration, plasma volume

1. 緒 言

高温環境下のスポーツにおいて、特に危険な障害の1つに熱中症がある。スポーツ活動中における熱中症の誘発要因としては、高度な脱水、水分摂取の制限、暑熱環境への未順化などがあ

げられるが¹⁷⁾、衣服や防具も熱中症の大きな要因の1つである¹⁷⁾。暑熱順化や水分補給が適切に行われても、蒸発による熱放散を妨げるような衣服を着用すれば、熱中症が誘発されることもある⁸⁾。したがって、高温環境下の運動においては、衣服や防具は吸水性と通気性に富み、軽量のも

*筑波大学体育研究科

〒305 茨城県つくば市天王台1-1-1

**筑波大学体育科学系

〒305 茨城県つくば市天王台1-1-1

Master's of Program in Health and Physical Education, University of Tsukuba Tennodai 1-1-1, Tsukuba City, Ibaraki (305)

Institute of Health and Sports Sciences, University of Tsukuba Tennodai 1-1-1, Tsukuba City, Ibaraki (305)

のにすべきとされている¹⁷⁾。

近年のめざましい科学技術の進展は、スポーツの世界にも押し寄せ、スポーツ用品や用具にも新しい素材を用いた製品が次々と開発されている。スポーツウェアもその例外ではなく、年々その素材やデザインは変化している。それに伴い、スポーツウェアに関する研究も進められ、特にスポーツ活動時の生理機能にスポーツウェアの素材が及ぼす影響について、いくつかの報告がなされている^{1,9,16)}。

一方、剣道では季節によって稽古着や防具を換えることは少なく、夏季の高温環境下においても通気性の悪い稽古着および防具を着用して長時間にわたり稽古を行うことが多い。そのため、そのような環境下の稽古では、著しい脱水をきたす可能性があると考えられる。剣道の防具が生体に及ぼす影響に関して、運動機能^{2,3)}やエネルギー消費量¹⁸⁾の面からの検討はなされている。しかし、剣道の稽古着と防具の影響が最も問題になると考えられる高温環境下の稽古において、それらが生体に及ぼす影響について検討した研究は見当たらない。

我々は、これまでに高温環境下における剣道の稽古による脱水と血漿量の減少に及ぼす影響についての検討を行った^{15,19,20)}。その結果、夏季において通常行われている程度の稽古でも著しい脱水と血漿量の減少が生じていることが明らかになった。本研究の目的は、これまでの成績を、同様の環境下において稽古着と防具を着用しないで行った運動負荷テストの成績と比較することによって、高温下における稽古着と防具の着用が脱水に及ぼす影響を検討しようとするものである。

2. 方 法

a. 対象

本研究における被験者は、大学剣道部に所属し、1日約2時間の稽古を週に6日間行っている男子10名である。本研究における被験者の身体的特徴と年齢を表1に示した。

Table 1 Physical characteristics and ages on 10 male subjects

Subjects	Age	Body height (cm)	Body weight (kg)
S.T.	19	174.2	65.1
S.K.	19	173.3	79.1
T.F.	20	175.1	71.9
M.I.	19	175.5	69.4
H.S.	20	178.4	71.6
Y.O.	21	178.2	63.3
Y.K.	21	173.6	73.0
Y.M.	23	167.4	77.6
K.N.	22	175.6	73.7
H.D.	22	175.7	73.2

b. 運動負荷

(1) 剣道の稽古

5名の被験者は、剣道の稽古開始前30分間の座位安静後、剣道の中心的な練習法である地稽古を30分間行い、地稽古終了後30分間、座位にて安静を保った。地稽古は試合形式の稽古であり、5分毎に相手を変え、計6人と行わせた。また、各実験とも実験開始から終了まで、被験者に飲料物を摂取させなかった。被験者は、剣道の稽古着と防具、および水泳パンツを着用して稽古を行った。外部環境は、乾球温度 $30.2 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 、湿球温度 $24.9 \pm 2.1^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $70.2 \pm 9.1\%$ であった。暑熱ストレスの指標として用いられている WBGT 指数 ($0.7 \times \text{湿球温度} + 0.3 \times \text{乾球温度}$)^{8,17)}に換算すると、 $26.5 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$ であった。

(2) 自転車運動

5名の被験者は、運動開始前30分間の仰臥位安静後、仰臥位にて自転車エルゴメーター（モナーク社製）による運動を30分間行い、運動終了後30分間仰臥位にて安静を保った。自転車エルゴメーターの負荷は2 kp、回転数は50rpmとした。被験者は、水泳パンツの上にショートパンツのみを着用して運動を行った。実験は、乾球温度 $36.5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、湿球温度 $27.0 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $48.6 \pm 7.3\%$ 、WBGT 指数 $30.7 \pm 3.3^{\circ}\text{C}$ に設定された環境制御室内で行った。

c. 計測

(1) 体重

剣道の稽古前および稽古後30分後、並びに自転車運動前および運動後30分後に体重の測定を行った。体重は、デジタル体重計（竹井機器）を用いて測定した。自転車運動時における体重の測定は、ショートパンツと水泳パンツを着用した状態で、汗をよく拭き取った後に測定した。ショートパンツの乾燥重量と運動後の重量を測定し、それぞれ運動前後の体重から減じて補正した。剣道の稽古時においては水泳パンツのみ着用した状態で、汗をよく拭きとった後に測定した。

(2) ヘマトクリットおよび血清総タンパク濃度

剣道の稽古前、稽古直後、および稽古後30分後、並びに自転車運動前、運動直後、および運動後30分後に採血を行い、ヘマトクリットおよび血清総タンパク濃度を測定した。

(3) 心拍数

剣道の稽古前、稽古直後、および稽古後30分後、並びに自転車運動前、運動直後、および運動後30分後に心拍数を測定した。自転車運動時

の心拍数は、運動開始30分前に耳朶に装着したパルスメーター（フクダ電子）を用いて測定した。剣道の稽古時の心拍数は、稽古開始30分前に装着したホルター心電計（フクダ電子）の記録より求めた。

d. 統計処理

統計処理については、自転車運動前後および剣道の稽古前後の比較はt検定を用いた対応のある平均値の差の検定を行った。また自転車運動時と剣道の稽古時の比較は、自転車運動直後および運動後30分後、並びに剣道の稽古直後および稽古後30分後における運動前からの変化率を求め、それぞれの変化率についてt検定を行った。有意水準は5%とした。

3. 結 果

剣道の稽古および自転車運動により、体重は減少した（表2、図1）。剣道の稽古時においては、稽古後30分後に2.3%（標準誤差=0.2）の体重減少が生じた（ $p<0.01$ ）。自転車運動時では、運動後30分後に運動前の1.4%（0.1）の体

Table 2 Body weight, hematocrit, serum total protein, and heart rate during bicycle and kendo exercises in hot environment

		initial	just after exercise	30min after exercise
Body Weight (kg)	Bicycle	71.4±2.3	—	70.4±2.3**
	Kendo	72.2±2.4	—	70.5±2.2***+
Hematocrit (%)	Bicycle	51.6±1.5	54.7±1.4**	52.7±1.9
	Kendo	41.8±1.3	46.2±1.6***+	44.1±1.4***+
Total Protein (g/dl)	Bicycle	6.7±0.2	7.7±0.2**	7.0±0.2**
	Kendo	6.9±1.2	8.5±1.3***+	8.0±1.2***+
Heart Rate (bpm)	Bicycle	58.6±1.9	154.8±5.5**	79.4±3.7**
	Kendo	61.8±6.9	175.2±2.3**	85.4±7.5**

Values are expressed as mean±SEM. The asterisks indicate significant differences (* $p<0.05$; ** $p<0.01$) from the value of initial state. The plus marks indicate significant differences(+ $p<0.05$; ++ $p<0.01$) between bicycle and kendo exercises.

Fig. 1 Body weight during bicycle and kendo exercises in hot environment. Values are expressed as mean $\pm$ SEM. The asterisks indicate significant differences (** $p < 0.01$) from the value of initial state. The plus mark indicates a significant difference (** $p < 0.01$) between bicycle and kendo exercises.

Fig. 2 Hematocrit during bicycle and kendo exercises in hot environment. Values are expressed as mean $\pm$ SEM. The asterisks indicate significant differences (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$) from the value of initial state. The plus marks indicate significant differences (* $p < 0.05$; ++ $p < 0.01$) between bicycle and kendo exercises.

重減少が生じた ($p < 0.01$)。これらの体重減少率を比較すると、剣道の稽古時の体重減少率は、自転車運動時より有意に高値であった。

剣道の稽古および自転車運動により、ヘマトクリットは増加した(表2, 図2)。剣道の稽古時において、稽古直後のヘマトリックは稽古前より10.7% (1.4) 増加し ($p < 0.01$)、稽古後30分後では5.7% (0.8) の増加であった ($p < 0.01$)。自転車運動時においては、ヘマトクリットは運動直後に6.2% (1.2) 増加し ($p < 0.01$)、運動後30分後では2.2% (1.6) の増加であった。剣道の稽古時におけるヘマトクリットの増加率はいずれも、自転車運動時の増加率より有意に高値であった。

剣道の稽古および自転車運動により血清総タンパク濃度もまた増加した(表2, 図3)。剣道の稽古直後には、血清総タンパク濃度は稽古前より23.5% (1.7) 増加し ($p < 0.01$)、稽古後30分後においても16.0% (1.6) 増加していた ($p < 0.01$)。自転車運動時においては、血清総タンパク濃度は運動直後に15.4% (2.4) 増加し ($p <$

0.01)、運動後30分後においても5.5% (1.3) 増加していた ($p < 0.01$)。剣道の稽古時における血清総タンパク濃度の増加率はいずれも、自転車運動時より有意に高値であった。

心拍数は、剣道の稽古および自転車運動により著しく増加した(表2, 図4)。剣道の稽古直後には、心拍数は196.9% (30.6) 増加し ($p < 0.01$)、稽古後30分後においても41.3% (10.5) 増加していた ($p < 0.01$)。自転車運動時の運動直後には、心拍数は164.9% (10.3) 増加し ($p < 0.01$)、運動後30分後においても36.1% (7.8) 増加していた ($p < 0.01$)。心拍数の増加率の比較では、自転車運動時と剣道の稽古時で統計学的な有意な差は認められなかった。

4. 考 案

本研究において、体重は自転車運動後および剣道の稽古後ともに有意に減少した。30分間の運動負荷による体重減少率を自転車運動時と剣道の稽古時とで比較すると、剣道の稽古時において有意に高い減少率が示された。運動によ

Fig. 3 Serum total protein concentration during bicycle and kendo exercises in hot environment. Values are expressed as mean $\pm$ SEM. The asterisks indicate significant differences (** $p < 0.01$) from the value of initial state. The plus marks indicate significant differences (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$) between bicycle and kendo exercises.

Fig. 4 Heart rate during bicycle and kendo exercises in hot environment. Values are expressed as mean $\pm$ SEM. The asterisks indicate significant differences (** $p < 0.01$) from the value of initial state. There is no significant difference between bicycle and kendo exercises.

て生じる体重の減少は、その93%は発汗に起因すると報告されており⁴⁾、本研究においても生じた体重減少も、そのほとんどが発汗によるものと考えられる。したがって、剣道の稽古の方が自転車運動に比べ、運動による発汗量が多いと考えられる。

ヘマトクリットと血清総タンパク濃度は自転車運動後および剣道の稽古後に有意に増加した。これより、自転車運動後および剣道の稽古後には、血漿量が減少したことが示唆される。一般に、運動時には血管内の水分が筋組織に移行することにより^{5,7,11)}、発汗がなくても一時的に血漿量は減少するが^{5,7,11)}、このような場合には運動終了30分後には血漿量は回復するとされている^{10,11,12)}。しかし、本研究においては自転車運動後30分後および剣道の稽古後30分後においても、ヘマトクリットおよび血清総タンパク濃度は完全には回復していない。したがって、本研究において運動後30分後においても回復されなかったヘマトクリットと血清総タンパク濃度の増加

は、発汗に伴う脱水によると考えられる。

本研究における環境条件は、自転車運動時では気温 $36.5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $48.6 \pm 7.3\%$ であり、30分間の剣道の稽古時では気温 $30.2 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $70.2 \pm 9.1\%$ であった。暑熱ストレスの指標として用いられている WBGT 指数は、剣道の稽古時では $26.5 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$ 、自転車運動時では $30.7 \pm 3.3^{\circ}\text{C}$ となる。すなわち、自転車運動時における暑熱ストレスの方が、剣道の稽古時よりもむしろ厳しいことになる。したがって、自転車運動時と剣道の稽古時の体重減少率の差の原因が、主として外部環境条件にあるとは考えにくい。また、自転車運動時および30分間の剣道の稽古時の運動強度を運動直後の心拍数から推測すると、最大心拍数を220-年齢とした場合、自転車運動時は約70% HRmax、剣道の稽古時は約75% HRmax である。これらの運動強度を比較しても、両者に大きな差があるとは考えられない。

したがって、剣道の稽古時に著しい体重減少が生じた原因としては、剣道の稽古着と防具の

影響を考えなくてはならない。すなわち、稽古着と防具を着用することにより、熱放散が妨げられて発汗が増強したという可能性である。Mathews らによれば¹⁴⁾、アメリカンフットボールにおいてもユニフォームとプロテクターを着用して運動した場合には、発汗が増強し、ユニフォームとプロテクターを着用しない場合よりも著しい体重減少が生じたことを報告している。Mathews らは、発汗量増大の原因として、ユニフォームとプロテクターにより熱放散が妨げられる一方で、重いプロテクターの着用によりエネルギー消費量が増すため、熱産生が増大することにも関与している可能性について言及している。剣道の防具着用の有無がエネルギー消費量に及ぼす影響を検討した異と服部の研究によれば¹⁸⁾、50%および70% $\dot{V}O_2\text{max}$ 強度のトレッドミル走を10分間行った場合、剣道防具着用時のエネルギー消費量は、防具未着用時より約13%高かったことが示されている。これらのことから、剣道の稽古着と防具の着用により熱放散が妨げられると同時に、剣道の防具の重量が熱産生を増大させ、発汗量がさらに増強した可能性も考えられる。

本研究において、剣道の稽古時と自転車運動時におけるヘマトクリットおよび血清総タンパク濃度の増加率を比較すると、剣道の稽古時において有意に高い増加率が示された。血漿量の減少は脱水の程度の増大、すなわち体重減少率の増加に伴い増大する⁶⁾。したがって、剣道の稽古時には稽古着と防具の着用により高度の脱水が生じた結果、著しい血漿量の減少が生じたと考えられる。

血漿量が減少すると、心臓への静脈還流が減少する結果、一回拍出量は低下する。このような場合には、一定量の循環血液量を維持するために心拍数はさらに増加する。本研究において、剣道の稽古時における心拍数の増加率は、自転車運動時より高い傾向にあった。アメリカンフットボールのユニフォームとプロテクターを着用して運動すると、運動中および運動後の心拍数は、それらを着用せずに同一強度の運動を行

なった場合と比べて、約10~15%高かったことが示されている¹⁴⁾。これらのことから、剣道の稽古時には稽古着と防具を着用することにより、エネルギー消費量が増加することに加えて、著しい血漿量の減少による心臓の一回拍出量の低下を代償するために、心拍数がさらに上昇した可能性も考えられる。したがって、高温環境下における剣道の稽古着と防具の着用は、心血管系にも大きな負担をかける可能性があると考えられる。

剣道の稽古着と防具には、相手の打突から身体を保護するという重要な役割がある。しかし、同時に自己の動作を妨げないという条件も必要なので、近年においては、強度と耐久性を備えたうえで軽量化を図った防具もいくつかみられる。しかし、剣道の稽古着と防具を高温環境下の稽古に適したものにするという観点から改良が図られたものはない。本研究の結果から考えても、高温環境下で長時間にわたり剣道の稽古を継続した場合には、暑熱障害を誘発する危険性さえあると考えられる。我々の検討によれば¹⁹⁾、本実験とほぼ同様の環境下で60分間の地稽古を行った場合は、体重減少率が4.1%であった。一般に体重減少率が3~5%を越えると、暑熱障害が誘発されやすいとされている^{13,17)}。剣道では、通常の稽古でも、本実験に示されたような条件下で60分を越えて行われることがあり得るので、暑熱障害を誘発する危険性が高いと考えられる。したがって、強度と耐久性に加えて暑熱障害の予防の点からも、今後、改良を加える必要があると考えられる。

結論として、剣道の稽古着および防具の着用により、発汗が増強し、剣道の稽古時には著しい脱水と高度の血漿量の減少が生じた。また、運動時の心拍数の上昇は増強し、心血管系への負担も増大することが示唆された。したがって、高温環境下の剣道の稽古における著しい体重および血漿量の減少と、心血管系への負担を軽減し、暑熱障害を予防するために、稽古着および防具の改良が必要と考えられる。

5. 要 約

高温環境下における剣道の稽古着および防具の着用が脱水に及ぼす影響を検討するため、乾球温度 $30.2 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 、湿球温度 $24.9 \pm 2.1^\circ\text{C}$ のもとで30分間の剣道の稽古を行った場合と、乾球温度 $36.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、湿球温度 $27.0 \pm 1.7^\circ\text{C}$ のもとで稽古着と防具を着用せずに約70% HRmax 強度の自転車運動を30分間行った場合で、運動前後の体重、ヘマトクリット、血清総タンパク濃度、および心拍数の変動を比較した。剣道の稽古後および自転車運動後とも体重は有意に減少したが、剣道の稽古時における体重減少率は自転車運動時より有意に高い減少率を示した。ヘマトクリットおよび血清総タンパク濃度は、剣道の稽古後および自転車運動後に有意に増加したが、剣道の稽古時においてこれらの増加率は自転車運動時よりも有意に高い増加率を示した。剣道の稽古後および自転車運動後に、心拍数は有意に増加した。しかし、心拍数の増加率には剣道の稽古時と自転車運動時で有意な差は認められなかった。剣道の稽古着と防具を着用することにより、熱放散が妨げられると同時に熱産生が増し、発汗が増強したため、著しい脱水と血漿量の減少が生じたと考えられる。高温環境下における剣道の稽古時の著しい脱水と血漿量の減少を軽減し、熱中症を予防するために、稽古着と防具の改良が必要と考えられる。

Reference

- 1) 浅見俊雄：スポーツウェア。J.J. Sports Sci. 4 : 745-751, 1985.
- 2) 坂東隆男, 浅見高明, 石島 繁, 木原資裕, 猪熊 真：剣道防具着用が運動機能に与える影響。武道学研究 23 : 56-66, 1990.
- 3) 坂東隆男, 浅見高明, 木原資裕, 石島 繁：剣道における防具負荷が運動機能に与える影響について。武道学研究18 : 137-138, 1985.
- 4) Cade, J.R., H.J. Free, A.M. De Quesada, D.L. Shires, and L.Roby : Changes in body fluid composition and volume during vigours exercise by athletes. J. Sports Med. 11 : 172-178, 1971.
- 5) Costill, D.L., L.Branam, D.Eddy, and W.J. Fink. : Alterations in red cell volume following exercise and dehydration. J. Appl. Physiol. 37 : 912-916, 1974.
- 6) Costill, D.L., R.Cote, and W.J. Fink. : Muscle water and electrolytes following varied levels of dehydration in man. J.Appl. Physiol. 40 : 6-11, 1976.
- 7) Costill, D.L., and W.J.Fink. : Plasma volume changes following exercise and thermal dehydration. J.Appl. Physiol. 37 : 521-525, 1974.
- 8) Fox, E.D.著：選手とコーチのためのスポーツ生理学。大修館書店 pp278-296, 1988.
- 9) 花田嘉代子, 三平和雄, 長井茂明, 大橋陽子：スポーツウェアが走行中の人体生理反応に及ぼす影響。デサントスポーツ科学 5 : 46-57, 1984.
- 10) Harrison, M.H., R.J. Edwards, and D.R. Leitch. : Effect of exercise and thermal stress on plasma volume. J.Appl. Physiol. 39 : 925-931, 1975.
- 11) Lamb, D.R. : Physiology of exercise. Macmillan Publishing Company, New York, 1984.
- 12) Lundvall, J., S.Mellander, H.Westling, and T. White. : Fluid transfer between blood and tissues during exercise. Acta. Physiol. Scand. 85 : 258-269, 1972.
- 13) 万木良平：高温下での体温調節と水分補給。新体育 50 : 534-540, 1980.
- 14) Mathews, D.K., E.D. Fox, and D.Tanzi. : Physiological responses during exercise and recovery in a football uniform. J.Appl. Physiol. 26 : 611-615, 1969.
- 15) 松田光生, 宮永 豊, 河野一郎, 芳賀脩光, 香田泰子, 蔵森紀昭, 和久貴洋, 宮内 卓：高温多湿環境下の剣道の地稽古における水分摂取が血液粘性および血液性状に及ぼす影響について。いばらき体育・スポーツ科学 6 : 30-37, 1991.
- 16) 三野 耕, 田中登喜子, 弓削 治：スポーツ時の人体生理機能とスポーツウェアの素材との関係。デサントスポーツ科学 1 : 116-126, 1981.
- 17) Squire, D.L. : Heat illness. Fluid and electrolyte

issues for pediatric and adolescent athletes. Sports Medicine37: 1085-1109, 1990.

- 18) 巽 申直, 服部恒明: 剣道防具着用が生体負担度に及ぼす影響. 武道学研究20: 23-24, 1987.
- 19) 和久貴洋, 松田光生, 河野一郎, 芳賀脩光, 三輪泰子, 遠藤 誠, 宮内 卓, 池上春夫: 高温環境下における長時間の剣道稽古に伴う脱水が血行動態および左心機能に及ぼす影響. 体力科学40: 465-474, 1991.
- 20) 和久貴洋, 松田光生, 河野一郎, 芳賀脩光, 香田泰子, 三輪一義, 水上春美, 松崎守利, 前田清司, 宮内 卓, 飯田 要: 高温環境下における剣道の稽古時の血行動態-水分摂取の影響-. 体力科学40: pp558, 1991.