

運動鍛練が体液調節に及ぼす影響

宮崎俊彦・鳴川英生・田中豊穂

Long-term Training Effects on Body Fluid Regulation

Toshihiko MIYAZAKI, Hideo NARUKAWA, Toyoho TANAKA

The purpose of this study is to investigate the effect of long-term physical training on the hormonal regulation of body fluid.

Body weight, blood pressure, urine volume, urine osmolarity, plasma renin, plasma aldosterone and antidiuretic hormone were examined under the water-restriction for seven hours on 5 men who had continued physical training for 6 hours a day, 7 days a week, at least 8 months and on 5 untrained physical education students of nearly the same age as the trained.

There was no difference in urine volume between the two groups, but urine osmolarity had a tendency to be higher in the trained than in the untrained. After the water-restriction, serum osmolarity showed a tendency to rise in the untrained but did not change in the trained.

Antidiuretic hormone did not change in the untrained, but showed a tendency to rise in the trained. Plasma renin activity did not show significant difference between the two groups, but plasma aldosterone of the trained was significantly less than that of the untrained.

From these results, the authors suppose that long-term physical training forms the following adaptation on the regulation of body fluid: in spite of a decrease of aldosterone, sodium-reabsorbing capacity does not decrease, and serum osmolarity is controlled within a narrow range by the increasing of the osmoreceptor sensitivity.

I 緒 言

我々は先に硬式庭球部員が夏期に炎天下で長時間の練習を行った時に生ずる生体変化について報告した¹⁸⁾。その結果を要約すれば、硬式庭球部員は3時間の練習による体重減少が約6% (3.0-3.5 kg)、非鍛練群のそれは約3%であったが、非鍛練群のほうが血圧からみた循環動態の変動は大きいというものであった。

短時間に大量の水分が失われた場合には、1) 体液量を保持するための腎臓からの水分再吸収、2) 体液間の水分移動、3) 血管収縮などによる体液と循環の調節が活発におこなわれ

る。これらの調節には Antidiuretic Hormone (以下 ADH と略す)、Renin-Angiotensin 系、Aldosterone (以下、Ald と略す。) などが重要な役割を果たしていることが知られている⁸⁾。

したがって、硬式庭球の例は運動鍛練によって ADH, Renin-Angiotensin 系, あるいは Ald の体液・循環調節機構が変化する可能性を示唆している。この問題に関して、Convertino et al.²⁾³⁾⁴⁾, Francesconi et al.⁶⁾, Geysant et al.⁷⁾, Kosunen et al.¹⁴⁾, Melin et al.¹⁶⁾, Skipka et al.²⁴⁾, Wade et al.²⁵⁾ らの研究がみられるが、長

期間の運動鍛練がこれらの内分泌系の体液・循環調節機構に及ぼす影響については、まだ安定した見解は得られていない。運動鍛練とは異なるが、やはり大量の水分出納が刺激の一つとなる適応現象に夏期適応がある。この現象を体液調節の観点から扱ったものに古志谷¹⁰⁾¹¹⁾、森島²⁰⁾、森本¹⁹⁾、吉村²⁶⁾らの研究がある。それによれば、夏には多量の発汗が誘因となってADHの分泌が昂進し、細胞外液量が増え、血清浸透圧が冬よりも低くなる順化が生ずる¹⁰⁾¹⁹⁾。この体液の季節順化には夏にAldの分泌が増大して細胞外液中のNaが増加し、水分が体内に貯留されることも関与している²⁰⁾。古志谷は高温順化させ体内の水分出納がプラス、つまり、ADHが増え体内に水分が貯留するようになった時の水分蒸泄量は順化前の1179 g/dayから2539 g/dayへと増加したと報告している¹¹⁾。

これらの報告を参考にして、著者らは前述の庭球部員に内分泌系の体液・循環調節機構に夏季適応に類似した変化がおきていると仮定し、前記報告と同一庭球部員を被験者にして、運動鍛練がADH、Renin-Angiotensin系、Aldなどの体液・循環調節機構におよぼす影響について検討した。

II 方 法

体液・循環調節機構の運動適応を調べる方法としては、安静時の機能をとらえる方法から運動刺激に対する反応をみる方法までいろいろ考えられるが、今回は水摂取制限という刺激を被験者に加えてそれに対する反応を吟味する方法をとった。

被験者には、運動鍛練群として某大学硬式庭球部男子5名、非鍛練群として運動クラブに所属していない同大学体育学部学生5名を用いた。なお、被験者には腎臓、循環器、内分泌系に既往歴のないことを問診によって確認した。

臨床検査法提要¹²⁾によれば水制限試験は体重減少率3%を目安におこなうことと指示されている。しかし、この方法は事前に所要時間を把握できないので実験計画をたてにくい。そこで、本実験では7時間の摂水・摂食制限を行った。実験開始前に排尿させ、実験中は1時間毎に全量を採尿した(以下、この実験方法を水制限と略す)。測定項目、測定手順をTable 1、血中・尿中成分の測定項目・方法をTable 2に示した。採血は肘静脈よりおこなった。被験者には、実験中、椅座位安静を保たせた。実験は1981

Table 1 Experimental design of water-restriction test

Hour (p.m.)	1:00	(1) 2:00	(2) 3:00	(3) 4:00	(4) 5:00	(5) 6:00	(6) 7:00	(7) 8:00
Weight	*	*	*	*	*	*	*	*
Blood pressure		*	*	*	*	*	*	*
Blood osmolarity								
ADH		*						*
renin								
aldosterone								
Urine volume								
osmolarity		*	*	*	*	*	*	*
gravity								

The plots indicate the times when measurements were made.

Table 2 Methods analyzing blood and urinary constituents

Constituents	Methods
Urinary constituents	
Urine osmolarity	Cryoscopy
Urine gravity	Refractometer
Blood constituents	
Plasma renin activity	RIA
Plasma aldosterone	RIA
ADH (antidiuretic hormone)	RIA
Serum osmolarity	Cryoscopy

RIA : radioimmunoassay

年12月5日、午後1-8時におこなった。実験室温は21-27°Cであった。なお、結果の検討にあたっては、体重は実験開始時の値を前値、7時間後の値を後値、その他の項目は実験開始1時間後の値を前値、7時間後の値を後値とみなして吟味をすすめた。本実験で用いた測定項目は事前の水分摂取量、塩分摂取量、身体活動などによって影響を受けやすい。そこで、実験の3日前から塩分を取りすぎないように、指示した。しかし、身体活動などについては、事前の指示が不十分であったために実験当日の午前中に鍛練群のみが1-3時間の運動をおこなって

いた。そこで、水制限と同一被験者を用いて平常生活の排尿毎に尿量と尿比重を測定し、一日の総尿量、平均尿比重および尿比重の日間変動をとらえて、水制限の結果を解釈する場合の参考にした。この追加実験は12月17-19日の3日間おこなった。

結果の解析にあたって、平均値の差の検定には、t-検定(両側)を用いた。その記述にあたっては、結果を総合的に検討するために、危険率を1%および5%("有意"と表現)のみならず10%および20%("傾向"と表現)についても表示した。

III 結 果

1) 水制限実験の結果

Table 3に水制限中の体重および尿量の結果を示した。水制限前の体重に対する体重減少率は非鍛練群 $1.26 \pm 0.47\%$ 、鍛練群 $1.34 \pm 0.12\%$ であった。水制限中の総尿量は非鍛練群 383 ± 137 cc、鍛練群 396 ± 44 ccであった。また、追加実験より求めた3日間の平均1日尿量に対する水制限中の尿量の割合は非鍛練群 $41.3 \pm 16.6\%$ 、鍛練群 $34.8 \pm 2.5\%$ であった。これらのいずれの項目にも両群間の有意差を認めなかった。

Table 3 Variations of weight and urine volume during water restriction (Mean \pm SD)

Time	Weight (kg)		Urine volume (cc)	
	Trained	Untrained	Trained	Untrained
0	60.93 \pm 4.49	63.26 \pm 6.72		
1	60.65 \pm 4.45	63.08 \pm 6.82	155 \pm 22	125 \pm 85
2	60.57 \pm 4.46	62.90 \pm 6.83	41 \pm 7	63 \pm 36
3	60.48 \pm 4.45	62.81 \pm 6.81	38 \pm 8	38 \pm 10
4	60.30 \pm 4.45	62.73 \pm 6.81	39 \pm 5	44 \pm 11
5	60.30 \pm 4.45	62.64 \pm 6.81	42 \pm 8	44 \pm 6
6	60.19 \pm 4.44	62.56 \pm 6.80	40 \pm 14	37 \pm 5
7	60.11 \pm 4.44	62.48 \pm 6.80	39 \pm 13	29 \pm 5
	$\Delta 0.81 \pm 0.08$	$\Delta 0.78 \pm 0.22$	$\Sigma 396 \pm 44$	$\Sigma 383 \pm 137$

 Δ : Weight loss during water-restriction Σ : Total urine volume during water-restriction

Time means hours which passed from the start of water-restriction.

Fig.1 に水制限中の尿浸透圧の変化を示した。全般に鍛練群の方が高い傾向を示した。水制限中の変化を1回目と7回目の差で見ると、非鍛練群 $217 \pm 172 \text{ mOsm/l}$ ($p < 0.1$), 鍛練群では $55 \pm 75 \text{ mOsm/l}$ ($p < 0.2$)の上昇を認めた。尿比重は尿浸透圧と同様の傾向を示した。

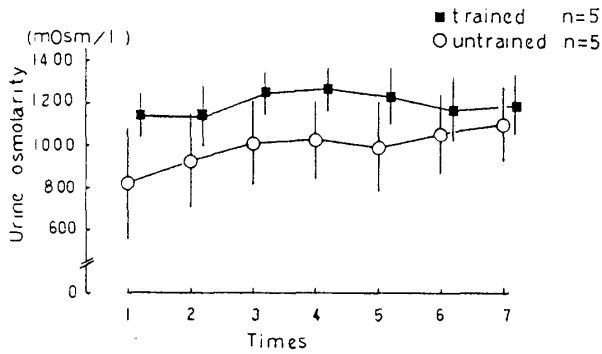


Fig. 1 Mean and standard deviation of urine osmolarity during water-restriction. Time means hours which passed from the start of water-restriction. Values are means \pm S. D..

Fig. 2 に血圧の結果を示した。最高血圧は両群間に差を認めなかったが、最低血圧は鍛練群の方が低い傾向を示した。

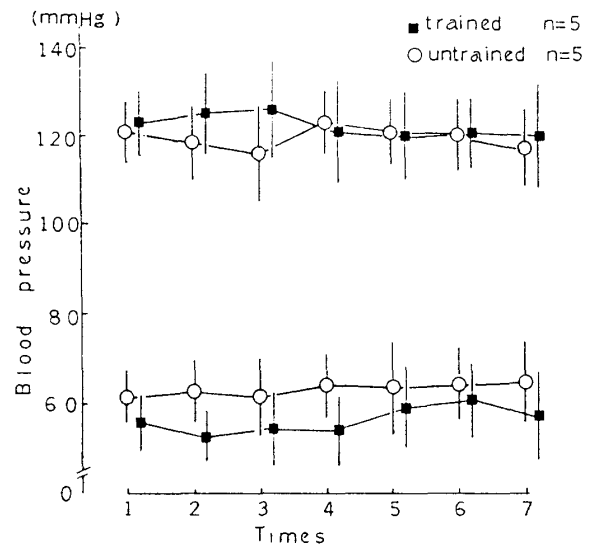


Fig. 2 Mean and standard deviation of blood pressure during water-restriction.

Table 4 Results of measurements in groups with trained or untrained

	Time	Trained (n=5)	Untrained (n=5)	
Water-restriction test	Total urine volume (cc)	396 ± 44	383 ± 137	
	Urine gravity			
		1	1.032 ± 0.002	1.027 ± 0.009
		7	1.034 ± 0.005	1.031 ± 0.002
	Urine osmolarity (mOsm/l)	1	1140 ± 110 ⁺	823 ± 300
		7	1195 ± 165 [*]	1040 ± 166 ^{**}
	Systolic B.P. (mmHg)	1	122 ± 8	121 ± 6
		7	120 ± 11	117 ± 8
	Diastolic B.P. (mmHg)	1	55 ± 6	61 ± 5
		7	57 ± 9	64 ± 8
	Serum osmolarity (mOsm/l)	1	306 ± 7 ⁺⁺	295 ± 5
		7	304 ± 9	303 ± 13
	A D H (pg/ml)	1	4.1 ± 1.3	4.0 ± 2.2
		7	4.7 ± 1.0 ^{++*}	3.6 ± 0.5
P R A (ng/ml/hr)	1	1.6 ± 1.4	2.1 ± 1.0	
	7	0.9 ± 0.4 ⁺	2.9 ± 2.0	
A l d (ng/dl)	1	5.5 ± 1.2 ⁺⁺⁺⁺	9.7 ± 2.5	
	7	5.9 ± 2.2 ⁺⁺⁺	9.7 ± 2.1	
Supplemental test	Urine volume in a day	1210 ± 164 ⁺	973 ± 285	
	Urine gravity in a day	1.031 ± 0.002 ⁺	1.028 ± 0.003	
	Range of urine gravity during three days	0.006 ± 0.002 ⁺⁺	0.010 ± 0.004	

Values are means \pm S.D. Differences between the trained and the untrained are shown with ⁺, ⁺⁺, ⁺⁺⁺ and ⁺⁺⁺⁺ which indicate $p < 0.2$, $p < 0.1$, $p < 0.05$, $p < 0.01$, respectively. Differences between the initial values and the values after water-restriction are shown with ^{*} and ^{**} which indicate $p < 0.2$, $p < 0.1$, respectively.

Table 4 に水制限実験および追加実験の結果をまとめて示した。血清浸透圧は両群ともに水制限前後で差を認めなかった。鍛練群と非鍛練群とを比較すると、水制限前では非鍛練群 $295 \pm 5 \text{ mOsm/l}$ 、鍛練群 $306 \pm 7 \text{ mOsm/l}$ 、と鍛練群の方が高い傾向を示したが ($p < 0.1$)、水制限後には非鍛練群 $303 \pm 13 \text{ mOsm/l}$ 、鍛練群 $304 \pm 9 \text{ mOsm/l}$ 、と両群の差はなくなった。

ADH は鍛練群の場合、水制限前 $4.1 \pm 1.3 \text{ pg/ml}$ から水制限後 $4.7 \pm 1.0 \text{ pg/ml}$ と上昇する傾向を示した ($p < 0.2$)。非鍛練群の場合、水制限前 $4.0 \pm 2.2 \text{ pg/ml}$ 、水制限後 $3.6 \pm 0.5 \text{ pg/ml}$ と有意な差を認めなかった。また、両群の比較では水制限前に差はなかったが、水制限後には鍛練群の方が高い傾向を示した ($p < 0.1$)。

Plasma renin activity (以下、PRA と略す。) は水制限前後の比較では両群ともに有意な差を示さなかった。両群の比較では水制限前に非鍛練群 $2.1 \pm 1.0 \text{ ng/ml/hr}$ 、鍛練群 $1.6 \pm 1.4 \text{ ng/ml/hr}$ と差を認めなかったが、水制限後には非鍛練群 $2.9 \pm 2.0 \text{ ng/ml/hr}$ 、鍛練群 $0.9 \pm 0.4 \text{ ng/ml/hr}$ と鍛練群の方が低い傾向を認めた ($p < 0.2$)。

血漿中の Ald は、水制限前後の比較では両群とも有意な差を示さなかった。両群の比較では、水制限前に非鍛練群 $9.7 \pm 2.5 \text{ ng/dl}$ 、鍛練群 $5.5 \pm 1.1 \text{ ng/dl}$ 、水制限後に非鍛練群 $9.7 \pm 2.0 \text{ ng/dl}$ 、鍛練群 $5.9 \pm 2.2 \text{ ng/dl}$ と、水制限前後とも鍛練群の方が有意に低かった (水制限前は $p < 0.01$ 、水制限後は $p < 0.05$)。

2) 追加実験の結果

追加実験では、1日総尿量は非鍛練群 $973 \pm 285 \text{ cc}$ 、鍛練群 $1210 \pm 164 \text{ cc}$ と鍛練群の方が高い傾向を示し ($p < 0.2$)、1日の平均尿比重も非鍛練群 1.028 ± 0.003 、鍛練群 1.031 ± 0.002 と鍛練群の方が大きい傾向を示した ($p < 0.2$)。また、尿比重の変動範囲は非鍛練群 0.010 ± 0.001 、鍛練群 0.006 ± 0.002 、と鍛練群の方が変動範囲が狭い傾向を示した ($p < 0.1$)。

3) 結果の総括

- ① 鍛練群の方が、1日総尿量が多く、1日平均尿比重も大きい傾向を示した。
- ② 尿浸透圧は鍛練群の方が高い傾向を示したが、水制限中の上昇は非鍛練群の方が大きい傾向を示した。
- ③ 血清浸透圧は水制限前には、鍛練群の方が高い傾向を示した。しかし、水制限後には両群の差はなくなった。
- ④ ADH は水制限前には両群間に差を認めなかったが、水制限中に鍛練群の値がやや上昇し、水制限後には鍛練群の方が高い傾向を示した。
- ⑤ PRA は水制限前後ともに、両群間の差を認めなかった。
- ⑥ Ald は水制限前後ともに鍛練群の方が有意に高かった。

IV 考 察

1) Ald の変化について

水制限前後とも鍛練群の Ald が非鍛練群のそれよりも有意に低かった結果について吟味しよう。Ald は急性の stress (温熱、運動) によって増加するが、その増加は、運動あるいは温熱適応前より適応後に小さくなるという現象が報告されている⁴⁾⁵⁾⁶⁾。しかし、運動適応後の安静値に関する研究では安定した見解が得られていない。Melin は鍛練群は非鍛練群より (鍛練の程度および強度は明らかではない。) 安静時血中 Ald が低い傾向にあることを報告している。尿中 Ald ではあるが、Skipka²⁴⁾ も安静中の尿中 Ald 排せつ量は鍛練群 (鍛練の程度 [期間、一回の量] はあきらかでないが Vo_2max は 63 ml/kg/min) より非鍛練群の方が高いと報告している。適応には十分な期間とは言えないかもしれないが、Wade²⁵⁾ は 20 日間の鍛練後に尿中 Ald が鍛練前に比べて高くなったという報告をしている (8.4 miles/day の鍛練を行っている被験者にさらに、18 miles/day の鍛練を 20 日間負荷している。)。また、Geysant⁷⁾ は鍛練によって Vo_2max が 15.5% 増加した例 (87% Vo_2max の強度の運動を 60 分、4 回/週の頻度で 5 か月間、鍛練を行った後、 Vo_2max が 49.75 ml/min

から 56.52 ml/min になった。)で、安静時の血中 Ald が鍛練前後で変化しなかったと報告している。一方、本研究で用いた鍛練群は 50%V_O₂ max¹⁸⁾、6 時間/日程度の鍛練を 7 日/週¹⁷⁾、少なくとも 8 か月以上続けている。これらの文献および本研究を比較した場合、鍛練の強度、時間、頻度、および期間がまちまちなので断定はできないが、鍛練期間が長期になると、安静時の Ald が低くなると考えられる。

Ald は腎尿細管からの Na の再吸収を促進する²⁾。したがって、血中 Ald 濃度が低ければ腎臓での Na の再吸収量は少なくなると予想される。しかし、Skipka²⁴⁾ の報告によれば、尿中 Ald 排せつ量が非鍛練群より鍛練群の方が低いにもかかわらず、Na 排せつ量は鍛練群の方が少なかったと報告している。これは、Ald による Na 再吸収の感受性が鍛練群では非鍛練群より高くなっている可能性を示唆している。本研究においても、鍛練群の尿浸透圧の高い傾向は Ald が低いために Na 排せつ量の多くなった結果とも考えられるが、鍛練群の血清浸透圧は水制限前には非鍛練群より高く、水制限中の変動も少ないことから推測すれば、Na 再吸収能が大きく低下しているとは考えられない。運動鍛練による血中 Ald の低下がいかなる意味を持っているかについては、Na 代謝、Renin-Angiotensin 系との関連あるいは血圧調節、体液調節との関連で、さらに追求する価値のある問題と考える。

2) 血清浸透圧と ADH について

血清浸透圧と ADH との間には密接な関係の存在することが知られている。Robertson²¹⁾ は血漿浸透圧 1 mOsm/l の上昇は血漿 Vasopressin 0.38 pg/ml、尿浸透圧 100 mOsm/kg・H₂O を上昇させると報告している。伊藤⁹⁾ は Robertson の資料から、体の総水分量が 2% (体重の 1.2% に相当) 減少すると、血漿浸透圧が 2% (5.6 mOsm/kg・H₂O) 上昇し、血漿 Vasopressin は 4 pg/ml となり、尿浸透圧は 1000 mOsm/kg・H₂O になると推定している。本研究では水制限による体重の減少率は非鍛練群 1.26%、鍛練群 1.34% であった。これに対して血

清浸透圧は、鍛練群の場合、水制限前後で変化しなかったが、非鍛練群の場合、水制限後に上昇する傾向 (8 mOsm/l, 2.7% の上昇) を示した。ADH は非鍛練群の場合、水制限前後に変化がみられなかったが、鍛練群の場合、水制限後に高くなる傾向を示した。この結果はつぎのような運動適応が生じていると仮定すれば説明できる。すなわち鍛練群では浸透圧受容器の感受性が高まっていて、小さな浸透圧の変化にも反応して ADH の分泌が昂進し、浸透圧の調整が迅速におこなわれている。

3) 運動適応と夏季適応

一過性の運動をおこなうと血液中の PRA, Ald が増加することが知られている¹⁴⁾。一過性の温熱刺激も PRA, Ald¹⁵⁾ を増加させる。また、一か月程度の運動適応、温熱適応の場合にも汗の Cl 濃度の低下、Hypervolemia が観察されていて、この汗の Cl 濃度の低下や¹¹⁾¹³⁾²⁶⁾、Hypervolemia²⁾²²⁾ には、運動適応、温熱適応いずれの場合にも、Ald, ADH が関与していると考えられている³⁾¹⁴⁾²⁰⁾。したがって、運動刺激と温熱刺激は Ald および ADH をあげて体内に水分を貯留するような方向へ容量・浸透圧調節機能を動かしていると考えられている。すなわち、上に述べた短期間 (8-30 日間程度) の適応では温熱適応、運動適応とも同じ生体変化が生じていると考えられる。それならば、適応期間が長期に及ぶとどうであろうか。純粹の温熱適応とは言いがたいが、長期の温熱適応として夏季適応と、長期の運動適応としての本研究とを比較してみる。季節適応では血清浸透圧は冬より夏の方が低く¹⁹⁾、Ald は夏に増す²⁰⁾と報告されている。それに対して、本研究の鍛練群は非鍛練群より血清浸透圧が高い傾向にあり、Ald は有意に低かった。この違いについては、いくつかの考慮すべき点がある。夏期一日の総蒸せつ量 (不感蒸せつ量と発汗量の和) は 1660 g (体重 51 kg の者) であるのに対して¹⁰⁾、本研究の鍛練群は練習時間のみで 6% (3.0-3.5 kg) の体重減少が認められている。また、適応の期間も季節適応の場合、発汗量が多くなるのは夏の 2, 3 か月であると思われるが、本研究の鍛

練群はすくなくとも 50%Vo₂max で 6 時間の練習を 8 か月以上続けている。このような発汗量や適応期間の違いが運動適応と夏季適応の違いをもたらしているのかという問題のみならず、本研究で得られた長期運動適応と夏季適応の違いは興味深い問題と考える。

V まとめ

運動鍛練が体液の浸透圧・容量調節にどのような影響を与えるか検討することを目的に鍛練群 5 名、非鍛練群 5 名を対象にして水制限試験をおこない以下の結論を得た。

Ald は水制限前後ともに鍛練群の方が有意に低かった。また、有意な差ではなかったが、両群間に次の違いがみられた。非鍛練群は水制限後、血清浸透圧が高くなる傾向を示したにもかかわらず、ADH の増加は示さなかった。それに対して、鍛練群は水制限前後で血清浸透圧の変化は示さなかったが、水制限中に ADH は高まる傾向を示した。以上の結果について、運動鍛練者では、Ald が低下するにもかかわらず、Na 再吸収能は低下せず、また、浸透圧受容器の感受性が昂進して血清浸透圧の調整能が高まっていると考察した。

付 記

本実験について、名古屋大学第一内科学講座大磯ユタカ先生より、①実験前の被験者のコントロールが不十分であること、②7 時間の水制限という刺激が弱いこと、③ ADH のさらに鋭敏な測定法が現在開発されていることなどの指摘を受けた。これらの他に、著者ら自身、非鍛練群に体育学部生を用いた点も改良すべき実験計画と考えている。現在、これらの点を改良した研究を大磯ユタカ先生の協力を得て進めている。

謝 辞

稿を終えるにあたり、実験に被験者として協力していただきました硬式庭球部員および、体

育学部の学生の方々、ならびに実験に御援助いただきました運動生理学研究室の皆様にご心から感謝の意を表します。ADH, Ald, PRA 等の測定にあたっては、東京クリニカルラボラトリーの小林速雄さんにお世話になったことを付記します。

引用文献

- 1) 荒木勉, 戸田嘉秋, 辻野昭: 運動鍛練が汗中クロール量に及ぼす影響, 体力科学, 23: 12-24, 1974.
- 2) Convertino, V.A., Greenleaf, J.E., and Bernauer, E.M.: Role of thermal and exercise factors in the mechanism of hypervolemia. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 48: 657-664, 1980.
- 3) Convertino, V.A., Brock, P.J., Keil, L.C., Bernauer E.M. and Greenleaf, J.E.: Exercise training induced hypervolemia: role of plasma albumin, renin, and vasopressin. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 48: 665-669, 1980.
- 4) Convertino, V.A., Keil, L.C., and Greenleaf, J.E.: Plasma volume, renin, and vasopressin responses to graded exercise after training. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 54: 508-514, 1983.
- 5) Finberg, J.P.M., and Berlyne, G.M.: Modification of renin and aldosterone response to heat by acclimatization in man. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 42: 554-558, 1977.
- 6) Francesconi, R.P., Sawka, M.N., and Pandolf, K.B.: Hypohydration and acclimation: plasma renin and aldosterone during exercise. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 55: 1790-1794, 1983.
- 7) Geysant, A., Geelen, G., Denis, Ch., Allevard, A.M., Vincent, M., Jarsillon, E., Bizollon, C.A., Lacour, J.R., and Gharib.

- Cl.: Plasma vasopressin, renin activity, and aldosterone: effect of exercise and training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 46: 21-30, 1981.
- 8) 広重力, 加藤正道: 小生理学, 南山堂, 1982, pp.11-13.
- 9) 伊藤真次: 浸透圧調節システム概論, 日本臨床 41 巻 秋季臨時増刊, 体液・水・電解質代謝と酸・塩基平衡, 1983, pp.758-765.
- 10) 古志谷淳三: 水分塩分代謝の季節順化, 水分塩分代謝の季節変動(第1報) 体温調節機能と物質代謝の季節相関に関する研究 第5報, 日本生理誌, 19: 1037-1050, 1957.
- 11) 古志谷淳三: 水分塩分代謝の季節順化, 高温順化時の水分塩分代謝(第2報) 体液調節機構と物質代謝の季節相関に関する研究 第6報, 日本生理誌, 19: 1148-1161, 1957.
- 12) 金井泉・金井正光: 臨床検査法提要, 改訂28版, 金原出版, 1978, pp. xv-7.
- 13) 小林義雄, 安藤好郎, 細井輝男: スポーツ鍛練者の暑熱適応, 体育学研究, 21: 39-54, 1976.
- 14) Kosunen, K.J., and Pakarinen, A.J.: Plasma renin, angiotensin II, and plasma and urinary aldosterone in running exercise. *J. Appl. Physiol.* 41: 26-29, 1976.
- 15) Kosunen, K.J., Pakarinen, A.J., Kuoppasalmi, K., and Adlercreutz, H.: Plasma renin activity, angiotensin II, and aldosterone during intense heat stress. *J. Appl. Physiol.* 41: 323-327, 1976.
- 16) Melin, B., Eclache, J.P., Geelen, G., Annat, G., Allevard, A.M., Jarsaillon, E., Zebidi, A., Legros, J.J., and Gharib, Cl.: Plasma AVP, neurophysin, renin activity, and aldosterone during submaximal exercise performed until exhaustion in trained and untrained men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 44: 141-151, 1980.
- 17) 宮崎俊彦, 田中豊穂: トレーニングの実態から研究課題をひきだす試み, 中京大学体育学論叢, 25: 113-120, 1984.
- 18) 宮崎俊彦, 鳴川英生, 田中豊穂: 夏期炎天下長時間運動が生体に与える影響, 中京大学体育学論叢, 26: 1-7, 1985.
- 19) Morimoto, T., Shiraki, K., Inoue, T., and Yoshimura, H.: Seasonal variation of water and electrolyte in serum with respect to homeostasis. *Jap. J. Physiol.* 19: 801-813, 1969.
- 20) 森島正彦: 季節順化に対するAldosteroneの意義, 日本生理誌, 26: 403-421, 1964.
- 21) Robertson, G.L., Shelton, R., and Athar, S.: The osmoregulation of vasopressin. *Kindney International*, 10: 25-37, 1976.
- 22) Senay, L.C., Mitchell, D., and Wyndham H.: Acclimatization in a hot humid environment: body fluid adjustments. *J. Appl. Physiol.* 40 (5): 786-796, 1976.
- 23) 繁田幸男, 吉川隆一, 北村栄作: 体液量調節系としてのレニン・アンギオテンシン・アルドステロン系, 日本臨床, 41 (秋季臨時増刊): 270-283, 1983.
- 24) Skipka, W., Bönig, D., Deck, K.A., Kulpmann, W.R., and Meurer, K.A.: Reduced aldosterone and sodium excretion in endurance-trained athletes before and during immersion. *Eur. J. Appl. Physiol.* 42: 255-261, 1979.
- 25) Wade, C.E., Dressendorfer, R.H., O'Brien, J.C., and Claybaugh, J.R.: Renal function, aldosterone, and vasopressin excretion following repeated long-distance running. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 50 (4): 709-712, 1981.
- 26) 吉村寿人: ヒトの適応能—気候変化への適応を中心として, 環境科学叢書 1977, pp. 3-5.