九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

LTレベルでの長時間運動負荷による血液生化学動態（第1報）：血清電解質,酵素の変化とカテコラミンとの関係

山口, 恭子
九州大学医学部第一内科

藤野, 武彦
九州大学健康科学センター

加治, 良一
九州大学健康科学センター

金谷, 庄蔵
九州大学健康科学センター

他

https://doi.org/10.15017/478

出版情報：健康科学. 9, pp.117-123, 1987-03-28. 九州大学健康科学センター
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

J. Health Sci., 9: 117–123, 1987.

LTレベルでの長時間運動負荷による血液生化学動態（第1報）

——血清電解質，酵素の変化とカテコラミンとの関係——

山口恭子* 藤野武彦 加治良一
金谷庄蔵 大柿哲朗 小室史恵
満園良一**

The Blood Chemical Response During Moderate Prolonged Exercise and Recovery

(1) Correlation of Catecholamine with Serum Electrolytes and Enzymes

Kyoko YAMAGUCHI*, Takehiko FUJINO, Yoshikazu KAJI, Shozo KANAYA, Tetsuro OGAKI, Toshie KOMURO and Ryouichi MITSUZONO**

Summary

The effects of moderate prolonged exercise on the blood chemical dynamics were studied in 6 athletes, by serial estimation of blood cells, platelets, serum electrolytes, serum enzymes and plasma catecholamines.

Exercise was performed at lactate threshold level for two hours.

1) Both noradrenaline and adrenaline were slowly increased up to the end of exercise, and rapidly decreased immediately after the exercise.
2) Serum potassium was gradually increased during the exercise and then decreased immediately after the exercise.
3) Serum enzymes showed no significant change during and after the exercise.

These results suggest that various changes of metabolism during moderate prolonged exercise are directly and indirectly related to catecholamines.

(Journal of Health Science, Kyushu University, 9: 117–123, 1987)

諸　　言

運動は，循環動態のみならず，血清電解質，血清酵素，血中ホルモンなどの代謝動態に著明な変化をもたらすことが知られている。しかし，これらの変化は，文献間でその程度に相違があり，これらの相違は，対象者や，運動負荷の種類，負荷強度および運動時間の違いに起因しているものと考えられる。そこで，今回の研究は，運動強度を乳酸性閾値（lactate threshold: LT）レベルにし，かつこのレベルでの運動負荷を長時間持続した場合の血液生化学的変化とその機序を解明することを目的とした。そして，とくに血清電解質

Institute of Health Science, Kyushu University 11. Kasuga 816, Japan.
*First Dept. of Int. Med., Kyushu University. Fukuoka 812, Japan.
**Kurume University. Kurume 830, Japan.

Table 1. Anthroprometric data

Subject	Age (yrs)	Hight (cm)	Weight (kg)	Maximal oxygen comsumption (mℓ/kg/min)	Work Ioad (kpm)	% $\dot{V}O_2$max
H.M	21	172	58.8	75.02	975～1,050	52.0
E.K	19	158	52.1	62.4	825	49.8
K.T	20	164	54.2	57.7	825～900	56.9
N.M	21	173	58.3	54.9	825～900	65.9
M.D	21	176	53.8	72.1	1,050	61.8
T.N	21	172	62.0	61.7	975	60.6

と酵素値の変化に焦点を合わせそのメカニズムをカテコラミンとの関連において検討した。

対象および方法

対象は陸上部の男子大学生6名，平均年令20.5±0.8才である。運動負荷は，20分間のランニングによるウォーミングアップの後，坐位自転車エルゴメーターを用いて，個人のLTレベルに相当する負荷を120分間持続させた。個人のLTレベルは，あらかじめ，坐位自転車エルゴメーターを用いて，450kpmから開始し，3分毎に150kpmずつ負荷を漸増し，exhaustionに達する段階的運動負荷試験を行い，各負荷毎の血中乳酸濃度，1分毎のガス交換変動諸数から，Davisら[2]の提唱する方法にもとづき求めた。また，運動中の水分摂取は自由とした。実験室内の温度は，18.5℃～22.3℃，湿度は，45～48%であった。運動中の心拍数は，12誘導心電図を記録して求めた。血液試料は前腕静脈より20分間のウォーミングアップ後，運動負荷中は20分毎に，また回復期は，30分まで10分毎に採取した。血漿や血清は直ちに遠心分離後凍結し，血中アドレナリン(Ad)およびノルアドレナリン(NA)は高速液体クロマドグラフィーを用いて測定した。血糖や乳酸は，全血にて測定し，乳酸は採血後直ちに測定した。その他，血清カリウム(K)，ナトリウム(Na)，クロール(Cl)，血清クレアチニンホスホキナーゼ(CPK)，乳酸脱水素酵素(LDH)，トランスアミナーゼ(GOT)は，自動分析器(TBA-80 super)により測定した。また白血球(WBC)，赤血球(RBC)，ヘモグロビン(Hb)，ヘマトクリット(Ht)，血小板(Plt)は，東亜医用電子シメックスE-3000にて測定した。Plasma volume change (ΔPV)は，HbおよびHtから算出した[3]。酸素摂取量($\dot{V}O_2$)は，MIJNHARDT社製oxycon-4を用いて測定した。

結　　果

1．対象者の身体特性：Table. 1に示すように，対象者の最大酸素摂取量($\dot{V}O_2$ max)の平均は，64±3.0ml/min/kgと高い体力水準[4]をもつAthleteであることがわかる。

2．運動負荷強度および時間について：有酸素性代謝(Aerobic metabolism)と無酸素性代謝(Anaerobic metabolism)の境界値を規定する用語および方法は様々であるが，今回我々は前述の方法で規定した。ところが，Table. 1に示すように，%$\dot{V}O_2$ maxに換算すると49.8%～65.7%と個人差がみられた。運動時間は，6名中4名が120分間，2名が105分間，108分間であったが，個人の%$\dot{V}O_2$ maxおよび運動強度には無関係であった。

3．血液生化学的検査：Table. 2に示す。

① カテコラミンの変化(Fig. 1)：ノルアドレナリン，アドレナリンともに運動開始より漸増し，両者とも運動終了時にピーク値に達した。回復期には両者とも漸減したが，前値に復さなかった。

② 血球成分と血漿量変化(ΔPV%)(Fig. 2)：白血球は運動開始時より漸増し，運動終了時には前値の約260%に達した。回復期にわずかに減少したものの回復30分後においても前値に復さなかった。血小板は運動開始より運動終了時まで漸増し，ピーク値は前値の約150%に達した。赤血球は運動中・回復期とも一定の傾向を示さなかった。ΔPV%は，赤血球と逆の推移を示し，運動初期にわずかに減少したが，以後一定の傾向は示さなかった。

③ 血清電解質(Fig. 3)：血清カリウムは運動開始より漸増し，運動終了時にピーク値を示した。回復10分後に減少を示したが回復30分後までには前値に復さなかった。血清ナトリウムは，運動開始20分後に，わずかに上昇したが，以後一定の傾向はみられなかった。

④ 血清酵素の変化(Fig. 4)：CPK，LDHは前値

Table 2. Changes of estimated parameters during exercise and recovery

		Exercise			
		Before	20min	40min	60min
HR	(beats/min)	68.8±2.6	157.2±4.2	159.2±6.3	159.3±0.4
Respiratory Quotient			0.884±0.02*	0.878±0.01	0.835±0.01
$\dot{V}O_2$	(ml/kg/min)		41.6±1.5*	38.6±1.7	41.1±1.8
WBC	($\times10^3$/mm³)	5.0±0.3	7.55±0.51	7.55±0.47	8.08±0.5
RBC	($\times10^6$/mm³)	505.3±9.8	517.8±10.4	505.2±7.1	519.0±9.6
Plt.	($\times10^4$/mm³)	25.8±1.8	30.23±2.49	31.1±2.16	31.85±2.53
Hb	(g/dl)	14.7±0.4	15.03±0.4	14.48±0.31	14.95±0.35
Ht	(%)	44.3±0.9	45.2±1.02	43.8±0.9	45.0±0.9
ΔPV	(%)		96.1±1.9	102.3±3.7	96.9±1.2
Na	(mEg/l)	141.3±0.4	142.7±0.45	142.3±0.38	142.0±0.33
K	(mEg/l)	4.5±0.1	4.85±0.07	5.00±0.07	5.10±0.10
CI	(mEg/l)	101.2±0.5	105.0±0.65	104.7±0.29	105.3±0.29
GOT	(Units)	26.3±1.4	27.7±1.76	26.8±1.47	27.3±1.67
LDH	(Units)	473±17.4	481.0±22.6	476.0±25.9*	476.0±16.3
CPK	(mu/ml)	255.5±22.1	264.2±23.4	266.8±24.4	267.3±24.1
CPK-MB	(%)	3.7±0.6	3.67±0.51	3.67±0.51	4.00±0.85
Ad	(Pg/ml)	85.8±23.8	276.0±41.0	292.0±43.0	363.0±61.0
NA	(Pg/ml)	372.3±54.5	1428±137	1572±169	1715±179
LA	(mg/dl)	10.2±1.0	19.5±3.72	18.3±2.12	15.5±1.79

			Recovery		
80min	100min	120min	10min	20min	30min
158.0±3.7	158.2±3.4*	163.6±3.3*	90.8±2.2*	89.5±2.7	84.5±2.8
0.856±0.02*	0.838±0.02*	0.837±0.007***			
39.9±1.8	40.5±1.2	37.4±1.9**			
9.47±0.98	12.03±1.31	12.9±2.2**	10.9±1.39	11.96±1.1*	11.88±1.18
519.3±11.2	520.8±8.3	516.0±5.2**	492.7±9.02	504.2±15.4*	494.0±13.0
32.3±2.57	33.58±2.94	38.5±2.12**	30.25±2.57	28.5±2.4*	27.7±1.96
15.05±0.44	15.10±0.37	14.73±0.34**	14.35±0.36	14.68±0.58	14.35±0.47
45.0±1.01	45.1±0.82	44.6±0.82**	42.98±0.78	44.06±1.32*	43.10±1.27
96.7±2.6	96±2.4	98.3±2.7**	105±3.3	101.2±2.8*	105±3.6
142.2±0.66*	142.7±0.45	143.0±1.00**	140.2±0.86	141.0±0.62	141.8±0.44
5.24±0.10*	5.30±0.11	5.45±0.18**	4.65±0.06	4.68±0.10	4.67±0.20
104.4±0.36	104.5±0.53	104.3±0.75**	102.0±0.53	103.0±0.49	103.3±0.57
28.4±1.39	28.0±1.96	28.0±2.15**	26.5±1.80	26.8±1.90	26.3±1.80
499.0±20.4*	480.3±14.7	491.3±16.0**	444.5±17.6	450.3±16.0	460.2±19.1
285.6±20.6*	273.0±23.4	259.0±26.4**	262.0±23.4	272.0±23.6*	257.8±21.1
4.20±1.00*	3.83±0.86	4.00±0.94**	4.33±0.65	4.33±0.73	3.83±0.73
364.0±50.0	536.0±116.0	686.0±152.0	227.0±47.0	156±30.0	132.0±23.0
1858±237	2057±204	2402±329**	710±103	683±79	619±84
12.5±0.82	14.5±2.49	13.6±1.15**	11.0±1.0	10.6±1.10	10.4±0.70

Values are mean ±SE, N=6, *N=5, **N=4, ***N=3, ****N=2

より高値を示しているが，運動中，回復期に有意な変化は示さなかった。

⑤ 乳酸の変化 (Fig. 5): 運動開始より20分後にピーク値に達した後，漸減の傾向にあった。

考　　案

今回，適用した LT レベルでの運動負荷は，脂肪の燃焼の閾値として，あるいは運動能力を向上させるの

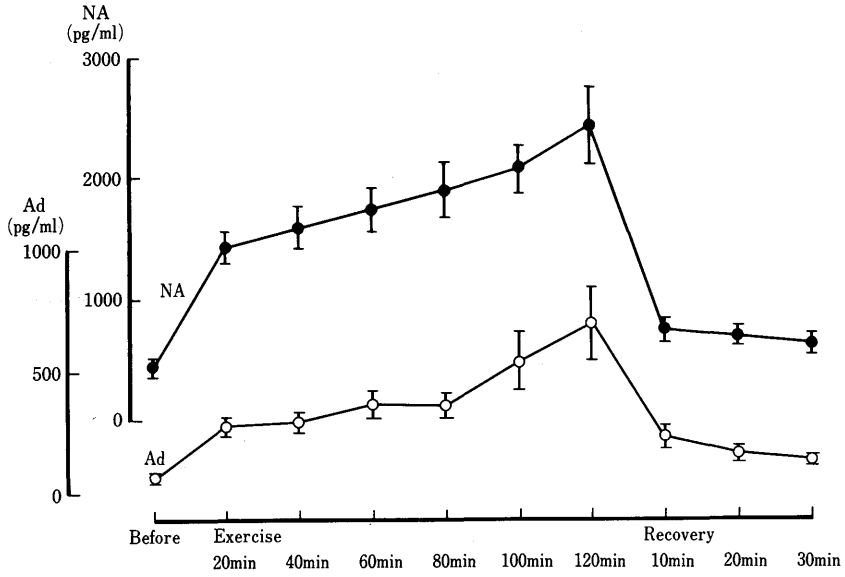

Fig. 1 Serial changes of adrenalin (Ad), noradrenalin (NA)
Data are presented as mean ± SEM

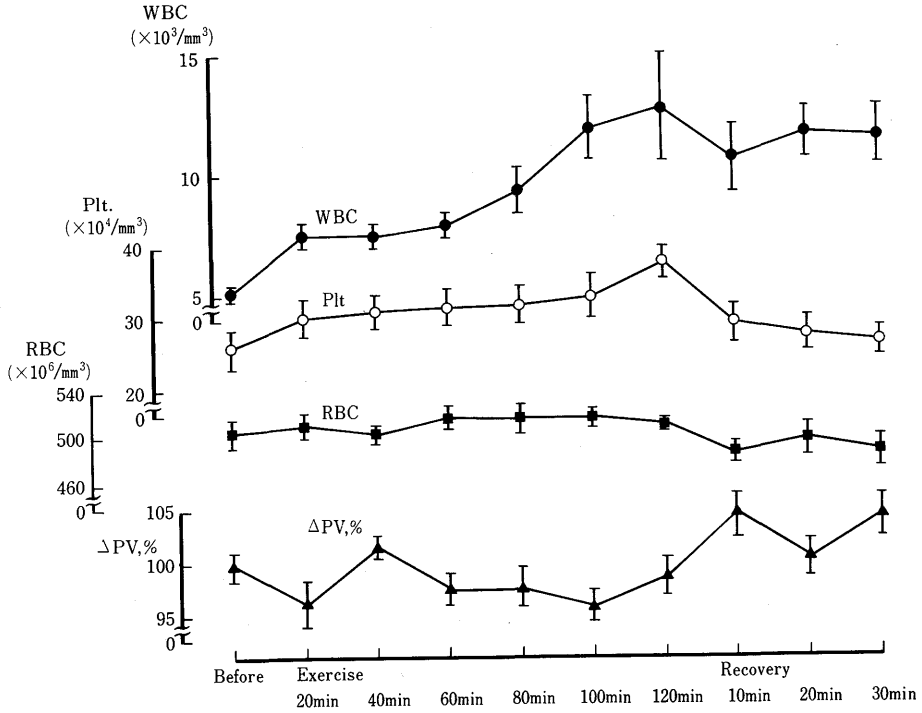

Fig. 2 Serial changes of White blood cell (WBC), Red blood cell (RBC), Plasma volume change (⊿PV%)
Data are presented as mean ± SEM

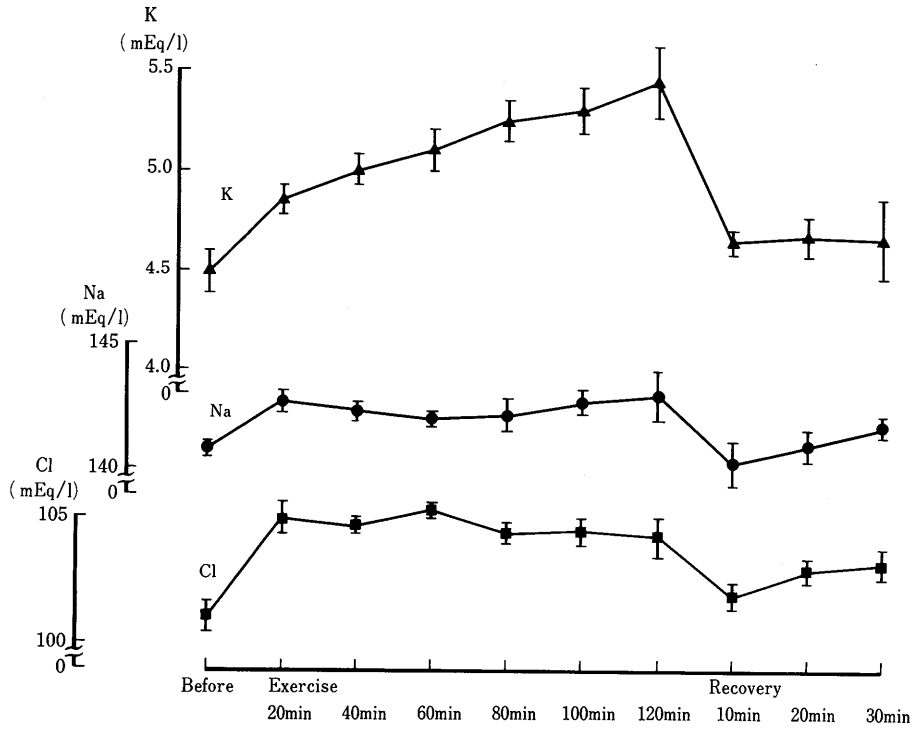

Fig. 3 Serial changes of Sodium (Na), Potassium (K), Chloride (Cl)
Data are presented as mean ± SEM

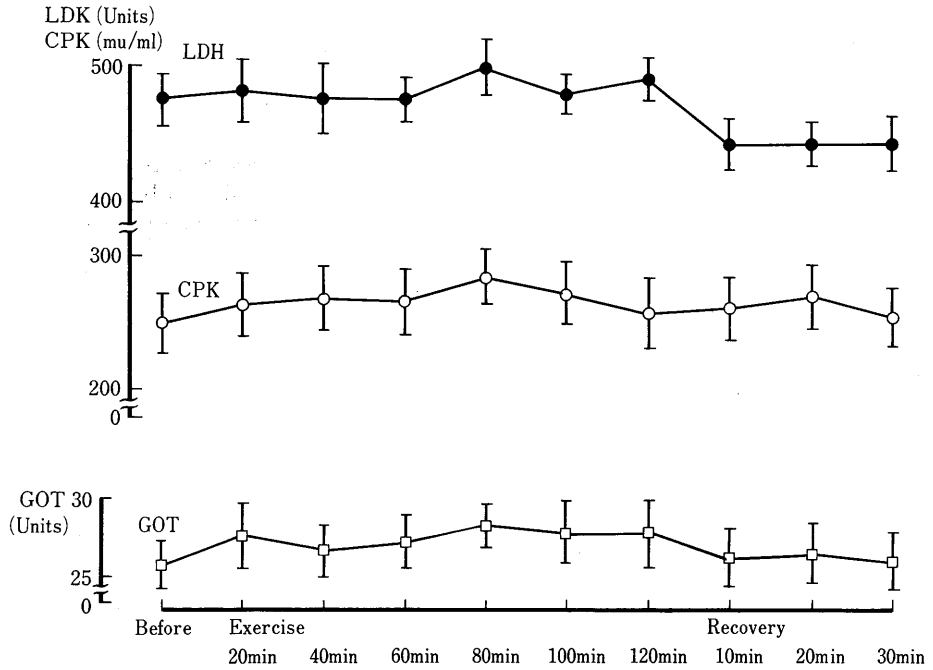

Fig. 4 Serial changes of LDH, CPK, GOT
Data are presentated as mean ± SEM

に好都合な負荷量として知られているが，そのレベルでの運動負荷を長時間持続した際の血液生化学動態を頻回にポリパラメトリックに検討したものは少なく，さらにそれらの変化の機序をカテコラミンとの関連において考察した研究はまだみられない。カテコラミンの運動時の動態については，前報[5)6)]に示したように段階的運動負荷の場合，60% $\dot{V}O_2$ max 以下ではわずかに増加し，それ以上になると指数関数的な増加がみられ，最高値で 10,000pg/ml に達するものもあったが，本研究ではその最高値は 3880pg/ml であった。興味深いことに，一定した運動レベルすなわち LT レベルで運動したにもかかわらず，わずかながら漸増がみられた。これは運動を長時間続けると，運動負荷は一定でもその個人にとっての相対的運動強度は増大することを示唆している。回復期の変化については，段階的運動負荷試験とほぼ同様のパターン，すなわち運動終了直後に急激な減少を示した。運動中のカリウムは時間の経過とともに漸増しピーク値は前値の120%に達し，そのポイントはカテコラミンのそれと一致していた。回復期では，既報[5)6)]の段階的運動負荷試験でカリウムが前値より低下したままで回復しなかったのに対し本実験では前値より低下することはなかった。このような血清カリウムの変化のメカニズムとして，運動による血液濃縮を考慮しなければならないが ΔPV がわずかな変動しか示さず，かつ一定した傾向を示さなかったことから，カリウムの変化をこの点から考察することは困難である。一方，カリウムの変化はカテコラミンのそれと平行し，そのピーク値のポイントは両者で一致した。このことは，金谷ら[5)6)]，William[7)]が指摘するように運動時の血中ノルアドレナリンの増大により α-receptor が興奮して，Na-Kポンプを抑制し，その結果，血清カリウムが増加するという説[1)]と一致する。一方，運動中止後はノルアドレナリンの急激な下降とアドレナリンの存在により低下していると考えられる。

ところで，カリウム動態がカテコラミンと密接な関係があるとするならば，血清酵素も上昇することが考えられるが[8)]，今回の実験結果では有意な上昇がみられなかったことは興味深い。これは，植田ら[8)]の中枢刺激の方がより強い交感神経刺激となっいる可能性が考えられるが，植田らの実験では血中カテコラミン濃度が測定されていないので，この差異の機序は明らかではない。

以上，LT レベルでの長時間運動負荷の電解質，酵素の変化をカテコラミンとの関連で考察したが，これらの結果はジョギングなどの運動中の生体反応を考察する上で示唆を与えるものと思われる。今後は，運動強度と持続時間との関係をさらに詳細に検討することや，個人差についても検討が必要である。

文　　献

1) Akaike N.: Sodoium pump in skeltai muscle: central nervous systeminduced suppression by α-adrenoceptors, Science., **213**: 1252–1254, 1981.
2) Davis, James A., Paul Vodak, Jack H. Wilmare, Jennifer Vodak, and Peter Kurtz: Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise, J. Appl. Physiol. **41**: 544–550, 1976.
3) Dill, D. B., and Costill, D. L.: Calculation of percentage changes in volumes of blood,

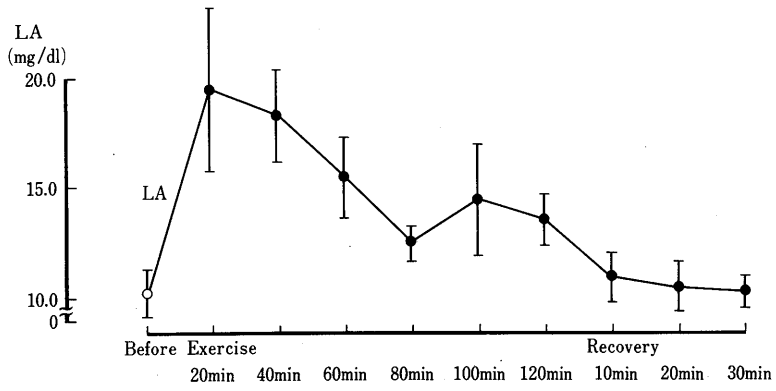

Fig. 5　Serial changes of Lactic acid (LA)
Data are presented as mean ± SEM

plasma, and red cells in dehydration, J. Appl. Physiol., **37**: 247–248, 1974.
4) Miyamura, M. and Honda, Y.: Maximum cardiac output related to sex and age, Jap. J. Physiol. **23**: 645–656, 1973.
5) 金谷庄蔵，藤野武彦，小宮秀一，大柿哲朗，小室史恵，鈴木　伸，緒方道彦，宅島　章，増田卓二，吉水　浩，満園良一，千綿俊機，安永　誠，町田弘幸：段階的運動負荷中及び回復期における血中カテコールアミン・血清カリウム・脂質及び血糖の動態，健康科学，**7**: 51–59, 1985.
6) 金谷庄蔵，藤野武彦，小宮秀一，大柿哲朗，小室史恵，加治良一，山口恭子，熊谷秋三：定量的漸増運動負荷中及び回復期における血中カテコールアミン・血清カリウム・脂質及び血糖の動態（第2報），健康科学，**8**: 35–41, 1986.
7) Mark E. Williams, M. D., Ernest, V. Gervino, SC. D., Robert M. Rosa, M.D., Lewis Landsberg, M. D., James B. Young, M. D., and Franklin H. Epstein, M. D.: Catecholamine Modulation of Rapid Potassium Shifts During Exercise., N. Engl. J. Med **312**: 823–827, 1985.
8) 植田啓嗣，大原俊樹，畑中良夫，西川光夫，塩谷彌兵衛：視床下部の電機刺激後の血清酵素．臨床神経学，**17**: 506–512, 1977.