

運動負荷による生体の抵抗性の消長と 副腎の変化について

石 黒 国 雄

1. 緒 言
2. 実験方法及び実験器具
3. 実験結果と考察
 - 3.1. 飼育日数の経過と体重の変化について
 - 3.2. 飼育日数の経過と遊泳時間の変化について
 - 3.3. 飼育日数の経過と尿量の変化について
 - 3.4. 飼育日数の経過と尿中17-K S 値の変化について
4. 総 括

1 緒 言

我々の生体が色々な外部からの刺激（低温，高温，多湿，高圧などの環境条件や，運動，栄養，睡眠などの内的条件等）にさらされると，生体内部にはこれ等の外部からの刺激に対抗して，色々な変化が起こり，順応性が形成されて恒常性が保持されているが，それ等の順応性の基礎的な問題として，内分泌との関連性を究明することが必要になってくる。

従ってこれ等の外部からの刺激と内分泌との関連性については，最近 H. Selye などによってそれぞれの作因に対する，生体の特異的な反応の他に，むしろその根底に存在する非特異的な反応のあることを指摘し，この非特異的な反応を生体の適応機構において特に強調し，しかもこれが下垂体副腎系を主体とした調節系によって展開することを強調している。

従って外部からの刺激に対して生体内では副腎皮質ホルモンの要求が高まり，副腎皮質は著しく肥大し，同部には形態学的にも，組織学的にも色々な種類の変化が起こり，外部からの刺激に順応していることは明らかになっている^{(1),(2)}。

然しながらこれ等の外部刺激に対する順応についての経過や日変化などに対する推移につい

ての検討は未だおこなわれていないようである。そこで筆者は本学紀要第1号，「登山の生理学的研究，凍死の研究1」第2号，「登山の生理学的研究，凍死の研究2」第4号，Stressor が副腎皮質機能に及ぼす影響^{(3),(4),(5)}，尿中17-Ketosteroids 値に与える影響^{(3),(4),(5)}」において，寒冷刺激を生体に負荷した場合，負荷日数の経過に伴ってどのように内的変化があらわれ，また寒冷に対する耐性がどのように獲得されてゆくかについて，マウスを被験動物として体重の比較， -20°C での凍死に要した時間の比較，副腎の重量の比較，尿中17-Ketosteroids 値の比較をおこない検討を加えてきた。

今回は運動を継続的に負荷した場合の抵抗性の消長について飼育日数の経過との関連において実験を試みた。

運動負荷については本学紀要4⁽⁵⁾，Stressor が副腎皮質機能に及ぼす影響⁽⁵⁾においてトレッドミル走を試みたが，オールアウトの限界を把握することが困難であったので，今回は遊泳による運動負荷を与え，遊泳能力の消長を考察すると同時に，長期間のトレーニングによって，抵抗性や能力にどのような変化があらわれるかについて，遊泳時間や体重の変化を考察し，一方Stress の面より副腎機能の状態を把握するために，尿の採取をおこない，尿量や尿中17-Ketosteroids 値（以下17-K S 値）の比較をおこなうと同時に，副腎の重量についても検討を試みたので報告する。

2 実験方法及び実験器具

2・1 実験方法

実験は1グループ5～7匹の成体雄マウス4グループを作り、各グループに下記の様な運動負荷を与えた。

Aグループ、毎日、1回、25日間体重の15%の重量を尾部に負荷してオールアウト（頸反射を起こし、溺死寸前の状態）まで遊泳負荷を与えたグループ。

Bグループ毎日1回、15日間、体重の10%の重量を尾部に負荷し、10分間遊泳負荷を与えたグループ。

Cグループ、毎日1回、25日間、水深3cmの水槽で10分間、水浴を負荷し、遊泳を負荷しなかったグループ。

Dグループ、遊泳、水浴とも負荷しなかったControlグループ。

上記の4グループに分けて運動を負荷し、遊泳時間、体重、尿量、尿中17-KS値、副腎の重量について負荷日数との関係について比較をおこなった。

2・2 実験に使用したマウス及び飼料

実験用 dd 系、成体雄マウスを使用し、インモータル製、マウス用採尿ゲージに飼育し、環境状態を統一するために10日間、22°Cの適温で飼育してから実験をおこなった。

飼料は日本クレア工業株式会社製、マウス飼育用固形完全配合飼料を用いた。

2・3 体重測定、尿採取及び遊泳実施時間

体重の測定は毎日午前10時、飼料を与える前に計測し、同時に1日尿を採取した。遊泳の実施は体重計測後直におこなった。

2・4 実験年月

昭和45年1月より、昭和45年10月までにおこなった。

2・5 実験器具及び装置

2・5・1 恒温室

各種の環境温度に飼育するために、実験室に三菱製、冷凍器と電熱器を取り付け、サーミスターによって一定の温度が得られる恒温室を試

作して使用した。（写真1，参照）

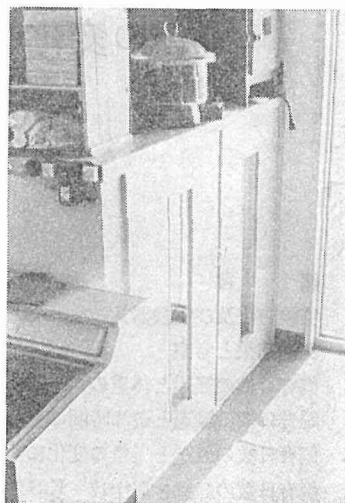


写真1. 恒温室

2・5・2 遊泳実験装置

マウスを遊泳させる目的で50cm×75cmのポリエチレン製水槽を用い、内部を6等分し水深は18cmとして、1匹1匹を独立して遊泳させるようにした。遊泳条件を統一し休息を防止するために30回/minのモーターに長さ40cmのプロペラを取付け、水を攪拌させて遊泳させた。

水温は32°C～34°Cに固定させるために水中にサーミスター付きの電熱器を取付けて保温した。（写真2参照）

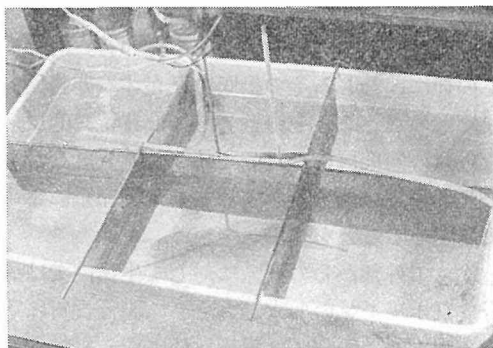


写真2. 遊泳実験装置

2・5・3 副腎の重量の計測について

副腎の重量はISW、トーションバランスを用

いた。

2・6 尿中 17-KS 値の検量について

Drekter 等の変法である岸本等の方法を用いて検量した。採尿にはインモータル、マウスゲージを用いたが、1日の尿量が3cc以下と極めて少いため、予め採尿瓶に15ccの蒸留水を入れて尿を稀釈して採取し、尿量を検量するとともに、その中10ccを検液として比色分析して検量した。比色には日立製作所株式会社製光度分光計101型を用いて、波長520m μ で検量し

た。

3 実験結果と考察

3・1 飼育日数の経過と体重の変化について。

第1表及び第1図は実験に使用したマウスの各グループにおける体重の成長曲線を示したものである。

表1 各グループにおける体重の経過日数別変化。

飼育経過日数	1	2	3	6	7	8	9	1	2	3	4
A グループ	N 6 26.05 1.27	N 6 26.60 1.56	N 6 26.87 1.66	N 6 27.52 1.85	N 6 27.25 1.64	N 6 27.75 1.59	N 6 28.23 1.76	— — —	6 27.92 1.68	6 27.98 1.93	6 26.93 1.58
B グループ	N — — —	N — — —	N — — —	N — — —	N — — —	N — — —	N 4 26.93 1.36	4 24.23 0.98	— — —	4 25.37 1.44	4 25.63 1.51
C グループ	N 5 25.16 1.12	N 5 24.22 1.32	N 5 25.36 1.14	N 5 25.88 1.21	N 5 26.28 1.43	N 5 26.54 1.02	N 5 26.98 1.83	— — —	5 26.26 1.69	5 26.54 1.46	5 26.32 1.35
飼育経過日数	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A グループ	N 4 26.90 1.40	N 4 27.48 1.23	N 4 28.20 1.85	N 4 26.15 1.77	N 4 26.67 1.33	N 4 26.70 1.49	N — — —	4 26.07 2.24	4 26.93 1.93	— — —	4 27.36 2.28
B グループ	N — — —	N 4 26.07 1.26	N 4 26.30 1.51	N 4 24.90 2.80	N 4 24.77 2.46	N 4 25.50 3.02	N 4 25.57 2.08	4 25.83 2.07	— — —	4 27.30 1.75	4 27.07 2.22
C グループ	N 5 26.92 1.26	N 5 26.75 1.55	N 5 27.60 2.06	N 5 26.0 1.63	N 5 26.72 1.89	N 5 27.06 1.41	N — — —	— — —	5 26.88 1.94	— — —	— — —
飼育経過日数	16	17	18	19	20	21	22	24	25		
A グループ	N 4 26.90 2.61	N 4 27.33 2.19	N 4 26.90 1.46	N 4 27.26 2.21	N 4 26.73 2.00	N 4 27.50 1.81	N 4 26.60 2.23	4 26.87 2.30	4 26.26 2.74		
B グループ	N — — —	N — — —	N — — —	N — — —	N — — —	N — — —	N — — —	— — —	— — —		
C グループ	N 5 27.28 1.46	N 5 27.78 1.27	N 5 27.58 1.45	N 5 27.60 1.43	N 5 27.72 1.46	N 5 28.02 1.56	N 5 27.60 1.64	5 27.66 1.29	5 28.18 1.70		

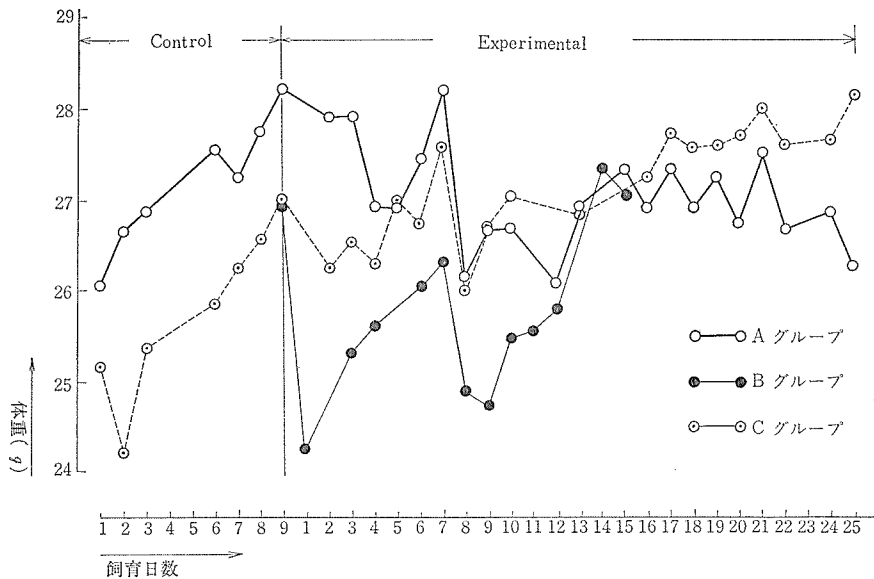


図1 各グループにおける体重の経過日数別変化

マウスは体重24g～28g、飼育日数では50日以上飼育の成体を用いた。

各グループとも運動を負荷しない Control 期間中の8日間の成長は正常な成長曲線を示しているのに対して、運動を負荷したAグループ（体重の15%の重量を尾部に負荷してオールアウトまで遊泳を負荷したマウス群）では、初期5日目までは増加率で0.98～0.95と減少を示し、6日、7日と回復し、8日～15日まで再び増加率0.92～0.94と減少し、不安定な値を得たが12日以降においてかなりな回復を示し安定した値を得た。

Bグループ（体重の10%の重量を尾部に負荷して10分間遊泳を負荷したマウス群）では、遊泳負荷1日目に増加率で0.90と急激な減少を示し、3日目～7日目までは増加率で0.94～0.97と増加を示し、8日目、9日目で再び減少を示し、以後回復を示すが、14日目以降において増加率で1.01と Control の値に回復する結果を得た。

Cグループ（10分間水浴をさせ、遊泳を負荷しなかったマウス群）では初期8日間は不安定な増減を示すが、9日目以降は安定した増加を示す結果を得た。

このような各種の Stressor を間歇的に生体⁽⁶⁾に負荷した場合の体重の消長については Poel⁽⁷⁾, Kerr et al⁽⁸⁾, Garcia⁽⁹⁾, Fryers⁽¹⁰⁾, Fregly and Otis

等によってネズミを用いて、低圧などの刺激負荷による実験が試みられているが、どの結果も刺激負荷群の成長が対象群よりも小さく、特に刺激負荷初期において成長が抑制されるか、むしろ減少し、途中より回復に向っている点では本実験も同様に結論は一致している。

体重の変動は刺激負荷期間における、動物の水分摂取及び食物摂取量の減少とも平行であり食欲不振の結果ともみなされるが、Stressor に生体がさらされた場合、生体内部の種々な Stress によって起こる現象と考えられることもでき、従って順応現象の1つと解釈することも可能であろう。

3・2 飼育日数の経過と遊泳時間の変化について。

第2表、第3表、第4表、第2図は各グループにおける遊泳時間の飼育日数毎の経過を示したものである。

Aグループ（体重の15%の重量を尾部に負荷してオールアウトまで遊泳を負荷したマウス群）では、遊泳負荷初期6日目までは、5日目を除き増加率で1.58～2.45と増加を示し、7日目には平均64分25秒、増加率、17.44と急激な増加を示し、遊泳負荷中の最高の値を得た。

8日目以後は9日目の平均15分22秒（増加

表2 Aグループの遊泳時間、尿量、尿中17-K S 値の経過日数別変化

飼育経過日数	Cont	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	
遊泳時間 (min)	$\frac{N}{\bar{X}}$ σ	6 3'41" 1.7'	6 5'49" 3.1'	6 7'55" 1.1'	6 9'03" 4.5'	4 7'24" 3.3'	4 9'04" 3.1'	4 6'425" 8.2'	4 6'09" 0.4'	4 15'22" 4.3'	4 5'14" 0.5'	4 6'31" 2.4'
尿量 (CC)	$\frac{N}{\bar{X}}$ σ	— — —	6 0.61 0.13	6 0.86 0.20	6 1.31 0.41	4 1.20 0.46	4 1.93 0.70	4 2.25 0.82	4 1.30 0.41	4 1.56 0.60	4 1.47 0.17	— — —
尿中17-K S 値 (mg)	$\frac{N}{\bar{X}}$ σ	— — —	6 2.73 1.26	6 4.94 1.09	6 9.97 4.20	4 8.49 5.33	4 11.91 3.36	4 25.67 9.44	— — —	4 12.30 6.40	— — —	— — —
飼育経過日数		13	15	16	17	18	19	20	21	22	24	25
遊泳時間 (min)	$\frac{N}{\bar{X}}$ σ	4 6'48" 0.5'	4 7'25" 1.2'	4 8'34" 1.2'	4 11'03" 4.3'	4 7'42" 1.2'	4 7'10" 1.4'	4 7'10" 2.8'	4 7'37" 2.6'	4 7'33" 0.9'	4 5'37" 1.7'	4 6'43" 1.6'
尿量 (CC)	$\frac{N}{\bar{X}}$ σ	— — —	— — —	4 2.00 0.40	— — —	4 1.50 0.41	— — —	4 1.87 0.33	— — —	— — —	— — —	4 1.00 0.00
尿中17-K S 値 (mg)	$\frac{N}{\bar{X}}$ σ	— — —	— — —	4 13.17 1.89	— — —	4 5.43 2.38	— — —	4 15.21 3.63	— — —	— — —	— — —	4 9.13 2.87

表3 Bグループの遊泳時間、尿量、尿中17-K S 値の経過日数別変化

飼育経過日数	Cont	2	3	4	6	7	8	10	14	15	
遊泳時間 (min)	$\frac{N}{\bar{X}}$ σ	4 6'32" 2.5'	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	4 8'30" 3.2'	
尿量 (CC)	$\frac{N}{\bar{X}}$ σ	— — —	4 0.92 0.02	4 1.08 0.11	4 1.18 0.09	4 1.42 0.22	4 2.23 0.42	4 1.42 0.31	4 1.89 0.06	4 1.58 0.12	4 1.55 0.21
尿中17-K S 値 (mg)	$\frac{N}{\bar{X}}$ σ	— — —	4 4.98 1.35	4 6.52 1.68	4 6.80 3.21	4 8.61 3.54	4 10.81 4.63	4 6.20 2.81	4 13.32 3.42	4 7.12 2.31	— — —

表4 Cグループの遊泳時間、尿量、尿中17-K S 値の経過日数別変化

飼育経過日数	Cont	2	3	4	5	6	7	
遊泳時間 (min)	$\frac{N}{\bar{X}}$ σ	5 4'45" 1.7'	— — —	— — —	— — —	— — —	5 4'54" 1.3'	
尿量 (CC)	$\frac{N}{\bar{X}}$ σ	— — —	5 0.62 0.13	5 0.94 0.29	5 1.18 0.42	5 0.88 0.40	5 1.14 0.17	5 1.36 0.46
尿中17-K S 値	$\frac{N}{\bar{X}}$ σ	— — —	5 2.80 1.61	5 5.50 2.01	5 9.56 3.95	5 6.06 3.60	5 5.44 1.75	5 8.44 3.20

飼育経過日数	9	10	14	16	18	20	25
遊泳時間 N	—	5	5	—	—	—	5
(min) $\bar{X}$	—	5'18"	5'32"	—	—	—	4'54"
σ	—	2.1'	3.3'	—	—	—	2.2'
尿量 N	5	—	—	5	5	5	5
(CC) $\bar{X}$	1.60	—	—	1.86	1.58	1.24	1.0
ρ	0.50	—	—	0.56	0.64	0.72	0.41
尿中17-KS N	5	—	—	5	5	5	5
値 $\bar{X}$	10.25	—	—	9.31	6.42	8.73	8.90
σ	4.17	—	—	5.36	3.59	4.12	4.40

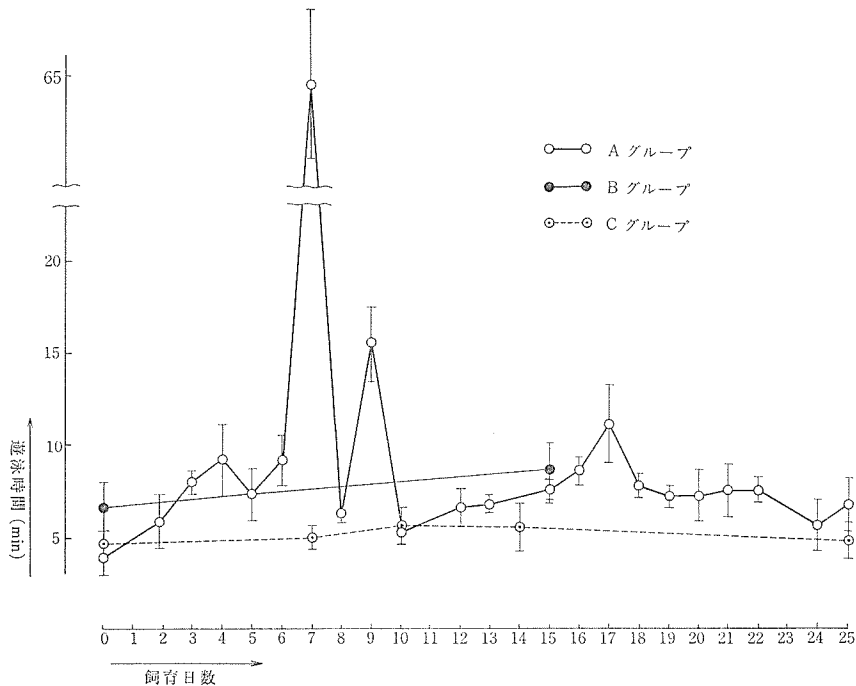


図2 各グループにおける遊泳時間の経過日数別変化

率;4.17),17日目の平均1分03秒(増加率;3.00)を除き,大体減少を示し(増加率;1.42~2.32)Controlの値に近づく結果を得た。

Bグループ(体重の10%の重量を尾部に負荷して10分間遊泳を負荷したマウス群)ではControlの平均6分32秒に対して,15日間の遊泳負荷後には平均8分30秒,増加率で1.30とわずかな増加を示す結果を得た。

Cグループ(10分間水浴をさせ,遊泳を負荷しなかったマウス群)では飼育日数の経過につれて,遊泳時間にはほとんど差異が認められなかった。(増加率;1.02~1.16)

Aグループ,Bグループ,Cグループの3者を比較すると,刺激負荷初期7日間は,特にAグループではトレーニング効果が現われ,遊泳時間の増加が他のグループより著しく,また日差が大きく不安定な値を示すが,刺激負荷後期においては3者の間には顕著な差異は認められなかった。

以上の結果から遊泳時間について考察すると,Aグループについては負荷刺激が過度なために,初期7日間は急激な遊泳時間の増加が認められ,過度の刺激に対して生体内でStressができて順応しているが,後期において,その

過度の刺激に抵抗できなくなって、遊泳時間の減少を示したものと推測される。このことは本学紀要、第1号、登山の生理学的研究、凍死の研究、⁽³⁾1において5°Cの過度の寒冷刺激を継続的に負荷した場合の凍死時間の結果と全く一致している。従って生体に過度な運動(遊泳)を負荷する場合には、マウスによれば7日が限

度であると推測される。

3・3 飼育日数の経過と尿量の変化について

第2表、第3表、第4表、第3図は各グループにおける尿量の飼育日数毎の経過を示したものである。

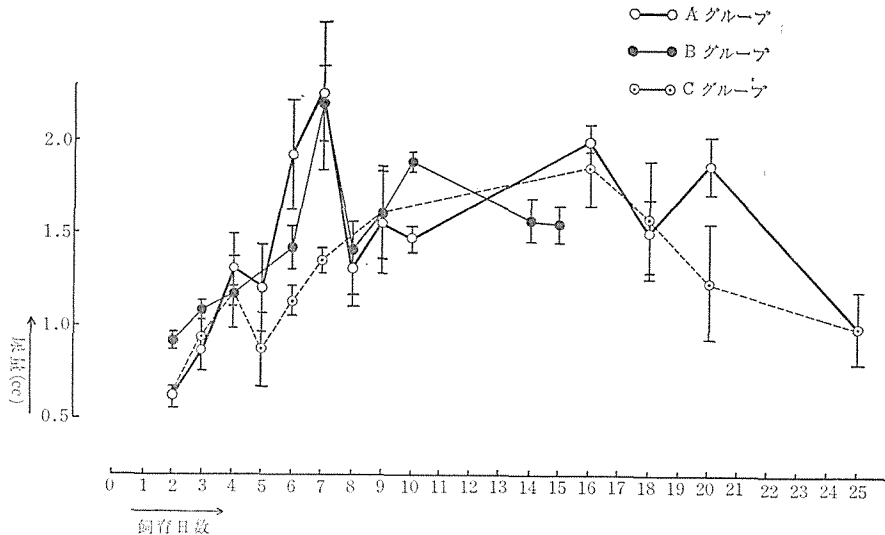


図3 各グループにおける尿量の経過日数別変化

Aグループ(体重の15%の重量を尾部に負荷してオールアウトまで遊泳を負荷したマウス群)については、遊泳時間と同様に、7日目までは2日目に対する増加率で3日目、1.40、4日目、2.13、5日目、1.96、6日目、3.16、7日目、3.69と5日目を除き急激な増加を示し、8日目以後は16日、20日目を除き減少を示す結果を得た。

Bグループ(体重の10%の重量を尾部に負荷して10分間遊泳を負荷したマウス群)については、Aグループと同様に、初期6日目までは2日目に対する増加率で、3日目、1.17、4日目、1.28、6日目、1.54とゆるやかな増加を示し、8日目以後に減少を示す結果を得た。

Cグループ(10分間水浴させ、遊泳を負荷しなかったマウス群)については、初期4日目までは2日目に対する増加率で、3日目、1.51、4日目、1.90とゆるやかな増加を示し、5日目には増加率で1.42と減少し、以後16日目までは増加率で6日目、1.84、7日目、2.19、9日

目、2.59、16日目3.00と増加を示し、以後減少する結果を得た。

Aグループ、Bグループ、Cグループの3者を比較すると、刺激負荷初期においては、遊泳負荷を与えたAグループ、Bグループに尿量の増加が著しく、後期においては3者の間には顕著な差異は認められなかった。

3・4 飼育日数の経過と尿中17-KS値の変化について

第2表、第3表、第4表、第4図は各グループにおける尿中17-KS値の飼育日数毎の経過を示したものである。

Aグループ(体重の15%の重量を尾部に負荷してオールアウトまで遊泳を負荷したマウス群)については4日目まで、2日目に対する増加率で3日目、1.80、4日目3.65と増加を示し、5日目に増加率で3.10とやや減少し、6日目、4.36、7日目には9.30と急激な増加を示し、9日目以後は増加率で1.98~5.57と、7日

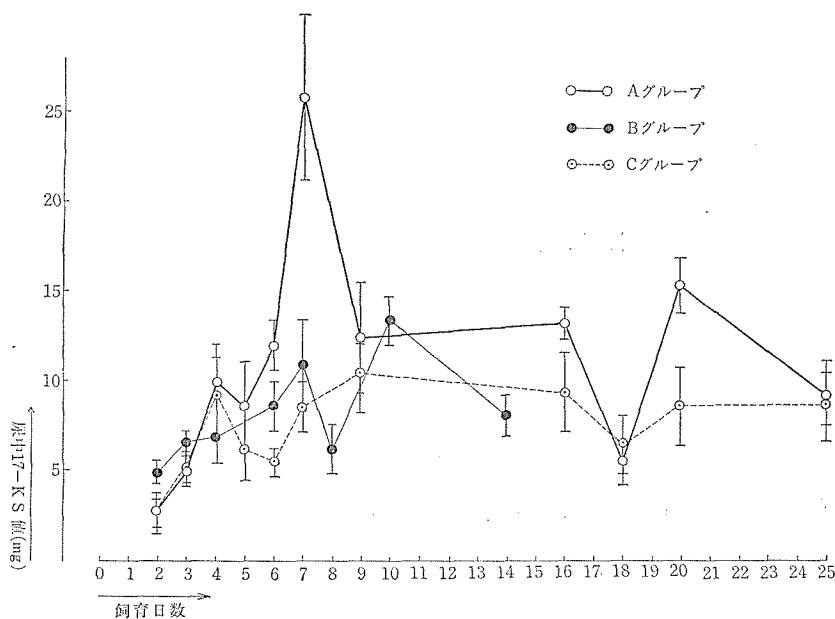


図4 各グループにおける尿中17-KS値の経過日数別変化

目をピークに減少を示す結果を得た。

Bグループ（体重の10%の重量を尾部に負荷して10分間遊泳を負荷したマウス群）については、7日目までは2日目に対する増加率で3日目、1.32、4日目、1.37、6日目、1.73、7日目、2.17と増加を示すが、8日目に増加率で1.25と急激に減少し、10日目に増加率で2.67と再び急激な増加を示し、14日目には減少を示す結果を得た。

Cグループ（10分間水浴させ、遊泳を負荷しなかったマウス群）については4日目までは2日目に対する増加率で3日目、1.96、4日目、3.41と増加を示し、5日目、6日目と増加率で2.14、1.94と減少を示し、7日目、9日目と増

加を示し、以後減少する結果を得た。

Aグループ、Bグループ、Cグループの3者を比較すると、刺激負荷初期には遊泳時間にも認められたように、Cグループに比較して、Aグループ、Bグループの遊泳を負荷したグループの増加率は高く、特にAグループでは7日目に急激な増加が認められたが、後期においては3者の間には顕著な差異は認められなかった。

3・5 各グループにおける遊泳負荷後の副腎の重量についての比較

第5図は各グループに25日間、又は15日間の遊泳を負荷した後の副腎の重量を示したものである。

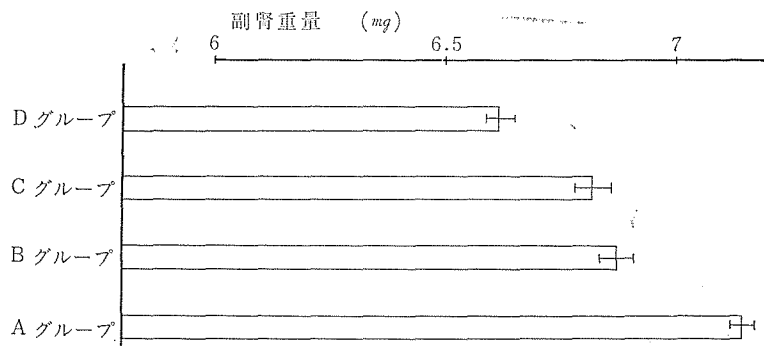


図5 各グループにおける運動負荷後の副腎重量の比較

副腎の重量を比較すると、刺激負荷の最も強かったAグループが平均7.14mgと最も重く、次いでBグループ、平均6.87mg、Cグループ、平均6.81mg、Dグループ、平均6.62mgの順となり、DグループのControlに対して、Cグループが2%、Bグループ、3%、Aグループ、7%の重量の増加が認められた。

4 総 括

マウスを用いて運動（遊泳）を負荷し、遊泳時間、体重、尿量、尿中17-KS値、副腎の重量について負荷日数との関連で検討し次の結果を得た。

4・1 毎日1回、25日間、体重の15%の重量を尾部に負荷して、オールアウトまで遊泳負荷を与えたマウス群では、負荷初期7日までは体重、尿量、遊泳時間、尿中17-KS値ともに急激な増加を示すが、7日目をピークに減少を示す結果を得た。このことは本学紀要1において発表した寒冷刺激負荷（5°C）の結果と全く一致しているものであり、負荷刺激が強過ぎたために、生体内の恒常性維持の機構に異状が現われた結果であると推測される。

従って生体に過度な刺激を負荷する場合は、マウスでは7日間を限度とすべきであろう。

4・2 毎日1回、15日間、体重の10%の重量を尾部に負荷して、10分間遊泳負荷を与えたマウス群では体重、尿量、尿中17-KS値の結果からみて刺激負荷が弱過ぎたために、前グループにみられるような顕著な増加が認められなかったが、前記同様刺激負荷初期に変動が大きく、生体内での変化が刺激負荷初期に現われるものと推測される。

4・3 毎日1回、25日間、水浴を負荷して、遊泳を負荷しなかったマウス群について

は、体重、遊泳時間、尿量、尿中17-KS値などの結果から、水浴そのものが刺激となつて、負荷初期7～10日間に変化が多く現われる結果を得た。

参 考 文 献

- 1) Engel, F. L., M. G. Winton and C. N. H. Long; J. Exp. Med. 77: 397, 1943
- 2) Tepperman, J., and J. S. Bogardus; Endoc 43: 448, 1948
- 3) 石黒国雄, 登山の生理学的研究, 凍死の研究Ⅰ 山梨県立女子短期大学紀要第1号 1967
- 4) 石黒国雄, 登山の生理学的研究, 凍死の研究Ⅱ 山梨県立女子短期大学紀要, 第2号1968
- 5) 石黒国雄, Stressor が副腎皮質機能に及ぼす影響—尿中17-Ketosteroids 値に与える影響— 山梨県立女子短期大学紀要 第4号 1970
- 6) Poel, W (1949); Effect of anoxic on myoglobin concentration in striated muscle. Am. J. Physiol. 156, 44—51
- 7) Kerr A., Diasia, R. B. and Bommer, W. J. (1965); Effect of altitude on coronary Size in the white rat. Am. Heart J. 69, 841
- 8) Garcia, J. F. (1957); Erythropoietic response to hypoxia as a function of age in the normal male rat. Am. J. Physiol. 190, 25—30
- 9) Fryers, C. R. (1952); Effect of decreased atmospheric pressure on blood volume of rats. Am. J. Physiol. 171, 459—464
- 10) Fregly, M. J. and Otis, A. B. (1962); Effect of chronic exposure to hypoxia on blood Pressure and thyroid function of hypertensive rats. p. 141—152, In the Physiological Effects of high altitude, pergamon Press, Oxford.
- 11) 森茂樹也, 副腎皮質の機能的形態学, 内分泌の集い第7集1955.