温熱逃避行動に対する持続的運動鍛練の影響

和田 實 村上 恵

DIMINISHED HEAT-ESCAPE BEHAVIOR IN PHYSICALLY TRAINED RATS

MINORU WADA and NAOTOSHI MURAKAMI

Abstract

Male rats were trained to escape from radiant heat of infrared lamp (250 W) by pressing a bar that turned a lamp off for 8 sec. To determine effects of repetitive exercise on this heat-escape behavior rats were either subjected to a 4-week physical training program in which they were forced to swim in agitating water of 36°C or 38°C for 1 hour each day or were not trained (non-exercised controls). After the program in 36°C water, the bar-pressing rate during the test period decreased markedly compared with that before the training period. Temperatures of the tail-skin and the environment in the test box increased to significantly higher levels in the trained rats than those before the training period, while the rectal temperature in the trained rats remained at the same level to that in the pretraining period. When a 4-week physical training program was completed in the same manner but using 38°C water, no differences in the heat-escape activity and the extents of temperatures concurrently measured were obtained between those before and after the training period in the trained rats or controls.

The significant reduction of heat-escape activity in rats with the repetitive exercise for 4-week in the 36°C water is a result of adaptive changes in the autonomic thermoregulation due to the repetitive exercise itself.

(J. Physical Fitness Japan 1984, 34: 34~41)

key words : rat, radiant heat, heat-escape behavior, repetitive exercise, rectal temperature, tail-skin temperature, swimming.

充分な強度の運動を規則的に反復持続して実施すると、種々の生理機能の活動水準に変化が発現する¹⁾³⁾⁵⁾⁸⁾¹³⁾¹⁵⁾¹⁶⁾。例えば Strömme and Hammel は¹⁴⁾、ラットに持続的な運動鍛練を行うと、寒冷暴露による代謝反応が増強し、同時に脚部の皮膚温が上昇して来ることを報告している。持続的運動鍛練後に発現したかかる生理機能の変動は、生体が環境に適応するに際して都合の良い変化と解されるところから、持続的運動鍛練は耐寒性を増強すると言える。トレーニングを積んだ長距離ランナーは、寒さに暴された時普通の人比して、より低い体温にならなければふるえがおこらないし、また寒冷感もおこって来ない²⁾⁴⁾。しかし暑熱

環境下では、普通の人よりも発汗が早く始まり、これは耐暑性の低下によるものと思われる。すなわち、かかる長距離ランナーは、体温調節系のセット・ポイントが、あたかもより低い体温レベルに設定されたかのようなのである。そう考えると、持続的運動鍛練と寒冷との間には交叉適応の現象が存在するものと思われる。

他方持続的運動鍛練によって、暑熱に対する反応発現が強化されたという研究は、すくない。そこで本研究では、環境からの温熱刺激に対し行動を介して調節している、体温調節行動に注目し、ラットの体温調節行動の一つである温熱逃避行動に対して、運動鍛練を持続して行えば、どのよう

な影響が発現するかについての検討を行った。動物に運動を負荷する時には体温の上昇、もしくは体温の下降が同時におこり、運動そのものの示す影響を修飾してう可能性も考えられるところから、ラットに持続的運動を負荷する時には、一部の実験では運動負荷中に体温上昇がおこらないように、36℃の水温で強制的に遊泳せしめた。ラットをこの36℃の水温で遊泳させると、直腸温には殆んど変化がおこらないことが報告されているからである⁷⁾。

実験方法

本実験では、行動学習開始時に 280 g 乃至 350 g の体重をもった健常な Wistar 系雄性ラットを使用した。ラットは 3 乃至 4 匹を一つのケージに入れ、ラット用標準飼料と水を適宜に摂取することが出来るようにして飼育した。

実験は 2 つのシリーズからなり、予めラットに温熱逃避行動を、1 週間から 10 日かけて十分に学習させた後、ラットを対照群と運動鍛練群の 2 群にランダムに分けて実施した。第 1 シリーズの実験では、運動鍛練群ラットに対して、36℃の水温を示すタンクの中で毎日 60 分間、強制的に遊泳させた。この時首に 8 g の重りをかけ、泳がなければ沈んでう様にし強制的に遊泳させた。またタンクの中の水は恒温装置 (TAIYO COOLNIT CL-15, 大洋科学工業) によって絶えず攪拌すると同時に、恒温を維持した。60 分間の遊泳終了後、直ちにタオルでふきとり乾燥させ、元のケージに戻した。かかる運動鍛練を週に 5 回、4 週間持続した。この 4 週間の持続的運動鍛練負荷前後に、90 分間にわたり温熱逃避行動を検した。他方対照群ラットに対しては、特に運動を負荷することなく、学習した温熱逃避行動を維持する目的で、週に 1 回学習せしめた。かかる記憶維持のための学習は運動鍛練群についても同様に行った。そうして 4 週間の間隔でその前後に温熱逃避行動を検した (以下“本実験”と呼ぶ)。

第 2 シリーズの実験は、持続的運動鍛練に負荷した強制遊泳の時の水温が 38℃であるのを除けば、他は全く同じ方法によって実験を行った。両シリーズの実験では、最後に赤外線ランプの高さ

を 36.5 cm から 31 cm に下げて、照射エネルギーを増加させた時の温熱逃避行動をさらに観察した。これは単位照射エネルギー当りの行動を算出することによって、行動の温度感受性を知るためである。

温熱逃避行動の学習ならびに“本実験”に使用した装置は、既に Lipton⁹⁾によって使用されているものと同じ原理に基づいている。すなわち金属性の箱の上面に、Plexiglas の円筒 (直径 24 cm) を装着したもので、金属箱には小形換気扇が取り付け付てあり、赤外線ランプが消灯している時間だけ回転し、円筒内の熱された空気が外気と置き代る。金属箱の上面はすの子状になっており、この上でラットは動き回る。この床面から 36.5 cm の高さで中央部に 250W の赤外線ランプが装置されている。円筒内面には 2 ケ所にバーが設置しており、一方のバーを押すと赤外線ランプが 8 秒間だけ消灯し、さきの換気扇が回るように組み立てられている。もう一つのバーはダミーのバーであって、このバーを押しても赤外線ランプは消灯しない。ラットは暑いと感じた時には、スイッチに連結してあるバーを選択して押さなければ、赤外線ランプを消灯し照射エネルギーを軽減出来ず、温熱逃避行動を学習することは出来ない。ラットは赤外線ランプからの温熱刺激を逃避せんとバー押しを行うようになるが、このバー押し回数は 3 分毎計測され印字される。これら温熱逃避行動を測定するための“本実験”ならびに学習は、いずれも 20±1℃の室温下で実施した。

持続的運動鍛練期間の前後ならびに対照群における 4 週間の前後で検した“本実験”の間中、直腸温、尾皮膚温ならびに円筒内の気温は、電位差計 (RC-5, 大倉電気) に連結した熱電対 (銅・コンスタンタン線) によって 1 分毎測定した。“本実験”は 90 分間にわたり行ったが、実験成績の表示に際しては、バー押し回数ならびに各部温度測定値いずれも、温熱逃避行動観察開始 15 分前から開始時まで、開始 15 分後から 30 分まで、45 分から 60 分まで、75 分から 90 分までの各 15 分間の値を平均して、それぞれ開始時、30 分、60 分、90 分目の値として表示した。

Table 1. Serial changes of body weight in the control and the training groups during 4 weeks that the training groups were subjected to forced swimming in 36°C or 38°C water.

	n	before training	after 2 week (training)	after 4 week (training)
control group	7	339±19.5 g	371 ±11.0 g	390 ±16.0 g ⁺
training group (at 36°C)	6	380±10.0	367 ±15.5	391 ±13.0
control group	4	315±16.7	372.5±18.5 ⁺	413.8±23.3 ^{ΔΔ}
training group (at 38°C)	6	313± 5.4	345.8± 7.1 ^{ΔΔΔ}	356.7±11.7 ^{*ΔΔ}

*<0.05 compared to corresponding values in the control.

+<0.10, ΔΔ<0.01, ΔΔΔ<0.001 compared to value before training

実験成績

I. 36°C 水温での遊泳負荷の影響

遊泳による運動負荷は、水温如何によって低体温、あるいは正常体温、高体温が発現する。Hirata and Nagasaka の報告によると⁷⁾水温36°Cが直腸温変動をおこさない水温であって、私共の予備実験によっても36°C水温で、60分間の遊泳負荷時の直腸温は負荷前に比して大きな変動は認められなかった。しかし38°C水温60分の遊泳負荷では直腸温は常に上昇を示した。そこで運動負荷による体温上昇効果を除外し、運動そのものの影響を観察する目的で36°C水温下に遊泳せしめ、4週間にわたる運動鍛練の影響を観察した。

実験開始に先んじてランダムに2群に分けたため、表1に示すように対照群の体重平均値は、運動鍛練群に比して低値を示したが、バラツキが大きく有意差は認められなかった。対照群は4週間の経過後、体重平均値の増加傾向が認められたが、4週間前に比して統計学的に有意な差ではなかった。他方運動鍛練群は4週間経過しても、殆んど体重の増加は認められなかった。

図1は、36°C水温での遊泳負荷を行った運動鍛練群ならびに対照群での、4週間前ならびに後に行った“本実験”バー押しの消長を示したものである。対照群では、4週間の前あるいは後におけるバー押しの消長には有意差を認めることが出来

Fig. 1. Bar-pressing rate of heat-escape behavior over 90 min of the test period in the control and the training groups. The tests were performed before and after 4-week training period. Rats in the training group were subjected to a 4-week physical training program in 36°C water. Empty symbols indicate the training group (n=6). Solid symbols indicate the control group (n=7). Square marks mean values before 4-week training period. Round marks mean values after 4-week training period. ΔΔ<0.01, +<0.1 compared to value before training. **<0.01, *<0.05 compared to corresponding value in the control.

Table 2. Changes in temperature in the rectum, the tail-skin and the environment in the test box, which were measured over the test period of 90 min in the control and in the training group which was exercised in the 36°C water. All rats were subjected to the test exercise before 4-week training and after completion of the training program.

°C		test before 4 week training time (min)				test after 4 week training time (min)			
		0	15-30	45-60	75-90	0	15-30	45-60	75-90
control group (n=7)	rectal temp.	39.51± 0.18	40.33± 0.13	40.45± 0.14	40.28± 0.02	39.40± 0.16	40.14± 0.11	40.28± 0.05	40.17± 0.05
	tail-skin temp.	26.09± 0.61	38.06± 0.40	37.61± 0.40	37.84± 0.27	25.49± 0.16	36.90± 0.58	36.70± 0.53	36.81± 0.46
	ambient temp.	23.90± 0.22	32.56± 0.49	32.54± 0.50	32.47± 0.51	23.36± 0.23	33.61± 0.82	32.66± 0.54	32.86± 0.36
training group (at 36°C, n=6)	rectal temp.	39.53± 0.14	40.32± 0.17	40.39± 0.19	40.14± 0.12	39.34± 0.12	40.33± 0.13	40.58± 0.06***	40.39± 0.07**
	tail-skin temp.	25.59± 0.36	37.29± 0.52	36.85± 0.39	37.01± 0.28	24.32± 0.25*** [△]	39.34± 0.35*** ^{△△}	38.72± 0.28*** ^{△△}	38.59± 0.24*** ^{△△}
	ambient temp.	23.70± 0.24	33.17± 0.37	32.41± 0.47	32.89± 0.58	22.58± 0.30 [△]	35.90± 0.57 ^{△△}	34.29± 0.77	33.48± 0.66

Numerals indicate mean±S.E.

***<0.001, **<0.01, *<0.05, +<0.10 compared to corresponding values in the control group

△△△<0.001, △△<0.01, △<0.05 compared to corresponding values in the test before 4-week training

なかったが、運動鍛練群では4週間後には鍛練前に比して有意なバー押しの減少が認められた。この減少は対照群の4週間後のバー押し数に比しても有意に減少していた。

同時に観察した各部温度の消長が表2に示されている。対照群では各部温度とも4週間の前後で有意な変化を認めることは出来ないが、運動鍛練群では尾皮膚温ならびに円筒内の気温（バー押しの結果選択した環境温度）は、運動鍛練後は鍛練前に比べ有意な高値を呈した。両温とも実験開始時は、運動鍛練前の値よりも有意な低値を示している。これらの諸測定値は対照群の4週間後の値に比しても有意に低い。

なお4週間の運動負荷後にみられた運動鍛練群のバー押しの減少は、図2に示すように既に運動鍛練開始後2週間の時点で発現していた。

II. 38°C水温での遊泳負荷の影響

38°C水温で遊泳負荷を行うと、その効果は運動そのものによる部分と、毎回くり返される深部温度上昇による部分とが同時に観察される。

このシリーズの実験では、表1に示すように、

4週間における体重変動は、対照群で98.8gに及び36°C水温下の対照群が51gであったのに比し、約2倍の増加を示した。しかし38°C水温下の運動鍛練群では43.7gと対照群の半分以下の増加であった。

運動鍛練4週間前・後で、鍛練群と対照群に対し、温熱逃避行動を検したが、図3にそのバー押しの消長を示した。対照群について4週間前後の消長を比較すると、4週間後のバー押しはやや増加傾向を認めるが、60分目の値を除けば有意ではない。他方運動鍛練群では、4週間の前と後とではバー押し消長には変化はなかった。

同時に測定した各部温度の消長を比較すると（表3）、対照群では4週間の時間経過後に、直腸温の30分値が僅かの低下を呈するのみで、尾皮膚温、円筒内気温共に変化は認められない。他方運動鍛練群では、運動鍛練前後での“本実験”中の各部温度を比較しても、殆んど有意差は認められない。ただ直腸温が運動鍛練後、“本実験”開始時に有意に低い値を呈した。要約すると、運動鍛練を4週間負荷しても、温熱逃避行動のみなら

Fig. 2. Serial changes in total number of bar-pressing motion in rats over the test period of 90 min, which were observed before training program, 2 weeks after the onset of training and after completion of the 4-week training program. Empty symbols indicate the training group (n=6). Solid symbols indicate the control group (n=7). *** <0.001 , * <0.05 compared to corresponding value in the control.

ず, 自律性体温調節の発現状況にも変化は認められなかった。

III. 温熱逃避行動の温度感受性に及ぼす運動鍛練の影響

温熱逃避行動のバー押し回数は, 照射熱エネルギー量の大小によって変動する。そこで赤外線ランプの床面よりの高さを 36.5 cm から 31 cm に下げることによって, 照射エネルギー量を 0.30 W/10 cm² から 0.41 W/10 cm² に増強し, かかる状況下に 36℃水温運動鍛練群と38℃水温運動鍛練群とについて, 温熱逃避行動を観察した。図4の右半分には, 60分間に行ったバー押し総数が示されている。36℃水温運動鍛練群の対照群のバー押し総数

Fig. 3. Bar-pressing rate of heat-escape behavior over 90 min of the test period in the control and the training groups. The tests were performed before and after 4-week training period. Rats in the training group were subjected to a 4-week physical training program in the 38°C water. Empty symbols indicate the training group (n=6). Solid symbols indicate the control group (n=4). Square marks mean values before 4-week training period. Round marks mean values after 4-week training period. Δ <0.05 compared to value before training. * <0.05 compared to corresponding value in the control.

は, 38℃水温運動鍛練群ならびにその対照群のバー押し総数との間に有意な相違はない。しかし 36℃水温運動鍛練群との間には有意差がみられた。かかる変動は先述した通り, 弱い熱エネルギー照射実験においても同様に観察された。ついで両シリーズの実験のそれぞれの群に対する強・弱両実験によって得られた2つのバー押し総数から1つの直線が得られた。この直線の傾きは, 各群の温熱逃避行動の温度感受性を示すことから, この傾きを36℃水温シリーズの実験について, 鍛練群と対照群とで比較した (図4中に示す)。しかし 36℃水温運動鍛練4週間後における温熱逃避行動の温

Fig. 4. Total number of heat-escape behavior for 60 min and thermosensitivity of rats in the control and the training groups. Bar pressing rates for 60 min were compared between the training group which was exercised in 36°C water or 38°C water and the control, which were observed under heat radiations of 0.30 or 0.41 W/10 cm². C means control groups. The numerals in parenthesis of histograms indicate the numbers of animals of each that were examined. **<0.01, *<0.05

度感受性と、対照群の温度感受性の間には検定によって有意な差は認められなかった ($t=0.943$, $n_1+n_2-4=22$). また36°C対照群と38°C対照群の間にもその傾きには有意な差を認め得なかった ($t=0.540$, $n_1+n_2-4=16$). 他方38°C水温シリーズでの鍛練群と対照群との間においても温度感受性の差は認められなかった。

考 察

持続的運動鍛練によって、寒冷暴露時に発現する種々の耐寒反応のうち、一部の反応が増強するという報告¹³⁾や、複数の反応が同時に増強とする報告²⁾⁽⁸⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁶⁾が多数なされており、持続的運動鍛練と寒冷との間には交叉適応が存在すると解されている。他方体温調節は、生体の自律神経系ならびに体性神経系の活動によって発現する自律性体温調節によって行われているばかりでなく、行動によって個体と環境との関係を改善し、

これを通して体温の恒一を計ろうとする行動性体温調節によっても行われていることが明らかにされて来た¹¹⁾。このような状況下に、耐寒性の発現時には、主として自律性体温調節反応が増強することが明らかにされて来ているが、一方の行動性体温調節が耐寒性の発現時にどのように変容するかについての研究は殆んど見当たらない。他方、暑熱暴露と持続的運動鍛練との間に交叉適応が存在するか否かについても定説はなく、持続的運動鍛練によって暑熱順化が著しく促進されるという報告⁵⁾があるに過ぎない。本論文の第2シリーズの実験において運動鍛練群（水温38°C遊泳負荷、4週間、運動鍛練中体温の上昇が毎回発現する）と対照群とを比較した成績によると、いずれの群においても4週間の前後を比較した限りでは、温熱逃避行動の発現に際し全く差を見出し得なかった（図3）。同時に測定した尾皮膚温ならびに直腸温の変動においても何らの有意差を認め得なかった（表3）。すなわち行動性体温調節に対してのみならず自律性体温調節に対しても、持続的運動鍛練は何らの影響をも及ぼさないと結論出来る。このように何らの影響も見出し得なかったのは、毎日1時間の遊泳を4週間持続する、といった運動鍛練の強度が弱かったとは考えられず、むしろ体重増加の著しい減少から判ずるとき、強過ぎたことも想像され、そのためかえって影響が不明になった恐れも考えることが出来るが、その可能性はすくない。しかし暑熱暴露による暑熱順化と運動鍛練とは熱放散機能に対する効果は同一でなく、完全な暑熱順化は両負荷を使用してのみ得られるという報告¹⁵⁾もあり、本成績とは一致しない。しかし同じ強度の運動負荷を36°Cの水温下で行った第1シリーズの実験では、違った結果が得られた。すなわち鍛練群では、4週間の運動鍛練期間終了後、同強の照射エネルギー量にもかかわらず、鍛練前に比べて温熱逃避行動のバー押し数は著減しており、尾皮膚温ならびに環境気温は高温を呈した（表2）。しかし直腸温の上昇は認められなかった。他方対照群ではこのような変化は全く認められなかった（表2）。Hirata and Nagasaka⁷⁾によると、36°C水温での遊泳時には、直腸温の上昇あるいは低下は発現しなかったが、38°C水温で

Table 3. Changes in temperatures in the rectum, the tail-skin and the environment in the test box, which were measured over the test period of 90 min in the control and in the training group which was exercised in the 38°C water. All rats were subjected to the test exercise before 4-week training and after completion of the training program.

°C		test before 4 week training time (min)				test after 4 week training time (min)			
		0	15-30	45-60	75-90	0	15-30	45-60	75-90
control group (n=4)	rectal temp.	39.52± 0.33	40.85± 0.08	40.91± 0.14	40.77± 0.08	39.43± 0.12	40.39± ^{ΔΔ} 0.08	40.53± 0.18	40.48± 0.15
	tail-skin temp.	25.50± 0.34	38.08± 0.59	38.45± 0.59	38.52± 0.63	26.49± 0.26	38.53± 0.58	37.84± 0.66	37.99± 0.57
	ambient temp.	22.11± 0.27	34.67± 0.68	33.87± 0.55	33.38± 0.82	22.75± 0.36	33.68± 0.30	32.62± 0.42	32.77± 0.36
training group (at 38°C, n=6)	rectal temp.	39.31± 0.13	40.34± 0.22	40.47± 0.18	40.48± 0.17	39.00±* 0.10	40.00± 0.13	40.41± 0.17	40.41± 0.16
	tail-skin temp.	26.04± 0.46	38.06± 0.20	37.87± 0.28	37.90± 0.46	26.63± 0.11	37.89± 0.31	37.80± 0.38	37.85± 0.43
	ambient temp.	22.63± 0.32	34.46± 0.58	33.57± 0.47	33.73± 0.55	22.89± 0.22	34.54± 0.50	33.66± 0.51	33.34± 0.67

Numerals indicate mean±S.E.

*<0.05 compared to corresponding values in the control group

ΔΔ<0.01 compared to corresponding values in the test before 4-week training

の遊泳に際しては直腸温の上昇を認めたと報告しており、筆者らの予備実験においても、36°C水温中では殆んど変動を認め得なかった。すなわち36°C水温での運動鍛練は、深部体温の上昇を伴わず、運動そのものによる影響のみと解することが出来るが、他方38°C水温での運動鍛練は、運動そのものの影響にさらにそのたび毎に深部体温の上昇の影響が加わったものと解することができる。言いかえると、深部体温が上昇しないように処置しておけば、4週間にわたる運動鍛練そのものの影響を観察することが出来る。すなわち、運動鍛練そのものの影響として暑熱環境暴露時に、これまでよりもより高いレベルまで皮膚温が上昇出来るようになり、その結果、温熱逃避行動の発現はすくなくなった。しかし生体全体として、運動負荷前と同じ体温レベルを維持することが出来ており、体温のsetpointは運動そのものによって影響されないことが分かった。すなわち、運動負荷は自律性体温調節を増強するように働いていると言えよう。そうして、温熱逃避行動（ひいては体温調節行動）へは、直接の影響はなく、相補関係

にある自律性体温調節を介した変動だけであると解される。このことは環境順化の機序が、効果器系の変化によるものが多いこと¹⁰⁾¹²⁾、そして体温調節行動はより高位レベルの神経系が関与した、より複雑な仕組みで発現するものであることを考えると、極めて理解し易い。また第1シリーズの鍛練後の“本実験”で暑熱暴露開始前に尾皮膚温や円筒内気温は、4週間前の値に比して低い値を示しており、4週間の運動鍛練により、暑熱に暴露された時、大量の熱保有が可能な状態下に既にあるものと思われる。しかし4週間にわたる運動鍛練時に、同時に深部体温の上昇が発現しておれば（第2シリーズの実験のように）、かかる運動負荷そのものの影響が相殺されて了うことは明らかである。すなわち運動鍛練負荷時に反復して深部体温が上昇すれば、反復して暑熱暴露する時と同様に、暑熱に対し順化がおり易いのではないかと想像されるが、むしろこの実験ではそのような生理機能の増強効果は相殺されて了う結果となった。かかる現象がどのような機序で発現したのか、現時点では全く分からない。運動時の深部体

温の上昇は、運動強度に比例すると報告されているが⁶⁾、36℃水温運動鍛練群ラットでは、かかる運動に伴う体熱の増加が周りの水環境によって奪われて了い、体温の上昇を呈さないのであるから、熱の流れは常に外向きに強く流れていると解してよからう。このような状況は暑熱順化をもたらすというよりも、あるいは逆に冷環境暴露時と同様に産熱を亢進させるような反応をおこす状態となっているのかも知れず、これが暑熱順化の形成を妨害したとする想像も可能であろう。

ついで2種類の強度の熱照射に対する温熱逃避行動の発現状況から、36℃水温運動鍛練群と38℃水温運動鍛練群での鍛練前後における温度感受性を検してみたが、両群共にその傾きは前・後において全く変わらず、また両対照群の間にも有意な傾きの違いを認め得なかった。36℃水温運動鍛練群で観察された温熱逃避行動発現の減少は、行動の温度感受性の変化に基づくものでないことがよく理解できる。すなわち自律性体温調節能の増強の結果、これと相補関係にある体温調節行動の減少がおこったとする解釈を支持している。

(受付 昭和59年5月30日)

REFERENCES

- 1) Barnard, R. J., Corre, K. K. and Cho, H. (1976) Effect of training on the resting heart rate of rats. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **35**, 285-289.
- 2) Baum, E., Brück, K. and Schwennicke, H. P. (1976) Adaptive modifications in the thermoregulatory system of long-distance runners. *J. Appl. Physiol.*, **40**, 404-410.
- 3) Crews, J. and Aldinger, E. E. (1967) Effect of chronic exercise on myocardial function. *Am. Heart J.*, **74**, 536-542.
- 4) Dressendorfer, R. H., Amith, R. M., Baker, D. G. and Hong, S. K. (1977) Cold tolerance of long-distance runners and swimmers in Hawaii. *Int. J. Biometeorol.*, **21**, 51-63.
- 5) Gisolfi, C. and Robinson, S. (1969) Relations between physical training, acclimatization and heat tolerance. *J. Appl. Physiol.*, **26**, 530-534.
- 6) Harri, M., Kuusela, P. and Okanen-Rossi, R. (1982) Temperature responses of rats to treadmill exercise, and the effect of thermoregulatory capacity. *Acta Physiol. Scand.*, **115**, 79-84.
- 7) Hirata, K. and Nagasaka, T. (1981) Enhancement of calorogenic response to cold and to norepinephrine in physically trained rats. *Jpn. J. Physiol.*, **31**, 657-665.
- 8) Kjellberg, S. R., Rudhe, U. and Sjöstrand, N. O. (1949) Increase of the amount of hemoglobin and blood volume in connection with physical training. *Acta Physiol. Scand.*, **19**, 146-151.
- 9) Lipton, J. M. (1969) Effects of high-fat diets on caloric intake, body weight and heat-escape responses in normal and hyperphagic rats. *J. comp. physiol. Psychol.*, **68**, 507-515.
- 10) Matoba, H. and Murakami, N. (1981) Histochemical changes of rat skeletal muscles induced by cold acclimation. *Jpn. J. Physiol.*, **31**, 273-278.
- 11) Murakami, N., Minagawa, T., Kawai, Y., Morimoto, A., Sakai, Y., Ooki, S. and Takase, Y. (1982) Thermoregulatory behavior in rats during induced fever. *Bull. Yamaguchi Med. Sch.*, **29**, 61-66.
- 12) Ogawa, T. (1982) Effects of sweat gland training by repeated local heating. *Jpn. J. Physiol.*, **32**, 971-981.
- 13) Östman, I., Sjöstrand, N. O. and Swedin, G. (1972) Cardiac noradrenaline turnover and urinary catecholamine excretion in trained and untrained rats during rest and exercise. *Acta Physiol. Scand.*, **86**, 299-308.
- 14) Strömme, S. B. and Hammel, H. T. (1967) Effects of physical training on tolerance to cold in rats. *J. Appl. Physiol.*, **23**, 815-824.
- 15) Strydom, N. B. (1966) Acclimatization to humid heat and the role of physical conditioning. *J. Appl. Physiol.*, **21**, 636-642.
- 16) Tipton, C. M. (1965) Training and bradycardia in rats. *Am. J. Physiol.*, **209**, 1089-1094.