

## 運動負荷が放射線障害に及ぼす影響に関する実験的研究

## 第 2 編

放射線照射直前又は照射後の運動負荷が、  
生存率、体重変化に及ぼす影響

岡山大学医学部衛生学教室（主任：大平昌彦教授）

岡 平 和 磨

（昭和 36 年 8 月 14 日受稿）

## 第 1 章 緒 論

放射線被曝個体の予後を左右する条件として、色々のものが想定されるが、その 1 つとして被曝個体の肉体的労働乃至疲労状態が如何なる意義を有するかを検討する目的で、著者は第 1 編で海獺を用いて X-線照射後運動負荷を行い、生存率、体重及び血液諸成分の変化では、照射のみの群と比較して強い変化を示す成分と、大差を示さない成分とのあることを認めたが、特に生存率における有意差の原因となる様な要因を把握するには至らなかった。本編では、放射線被曝の前後、特に直前の強度の運動負荷が被曝個体の予後に如何なる影響を与えるかを追求、照射後運動負荷を行った場合との間の差異について検討し、又、薬物による代謝亢進との相違についても検討を試みた。尚、併せて、運動負荷強度を知る目的で呼吸ガス分析を行った。

## 第 2 章 実験方法

## 第 1 節 実験用動物

実験用動物として体重平均 23 g の健康な C57-BL マウスを用い、次の 7 群に分けた。

- ① 照射前 30 分間運動負荷群 (REpre-30 m)
- ② 照射前 1 時間運動負荷群 (REpre-1 h)
- ③ 照射前 2 時間運動負荷群 (REpre-2 h)
- ④ 照射後運動負荷群 (REpost)
- ⑤ 運動対照群 (EC)
- ⑥ 照射対照群 (RC)
- ⑦ 甲状腺剤「チラーゼン」注射群 (TR)

①～③は照射直前 30 分間、1 時間及び 2 時間の運動負荷を行った群

④は照射後毎日 1 時間、1 週間に 6 日の割合で 30

日間連続運動を負荷せしめた群。

⑤は照射後運動群の対照として、照射を行わずして同様の運動を負荷せしめた群。

⑥は全般に対する照射対照群。

⑦は甲状腺剤「チラーゼン」を体重 10 g に対して 0.2 cc 注射し、代謝を亢進せしめた後 X-線照射を行いその影響を検する目的で行った。尚、「チラーゼン」0.2 cc 中には有機炭度 10 γ を含む。

## 第 2 節 放射線及び線量

放射線としては X-線を用いた。東芝 KXC-18 型 X-線装置で、管球電圧 200 KV、電流 25 mA、0.5 mm Cu+0.5 mm Al のフィルターを使用し、焦点動物間距離 50 cm、分間照射量 99 r で、総線量 600 r、660 r 及び 840 r の全身一時照射を行った。尚、正確を期するため、Victoreen Condenser r-Meter を使用して照射量を算出した。照射に当つて動物は小孔を開けた紙箱中に置いた。又、甲状腺剤「チラーゼン」注射群は、甲状腺剤の効果発現には潜伏期が存在し、大量一時投与の場合、最高代謝量を示すのは投与後約 1 週間であるから<sup>1)2)</sup>、1 週間代謝の亢進状態を観察し、その後 840 r の X-線照射を行った。

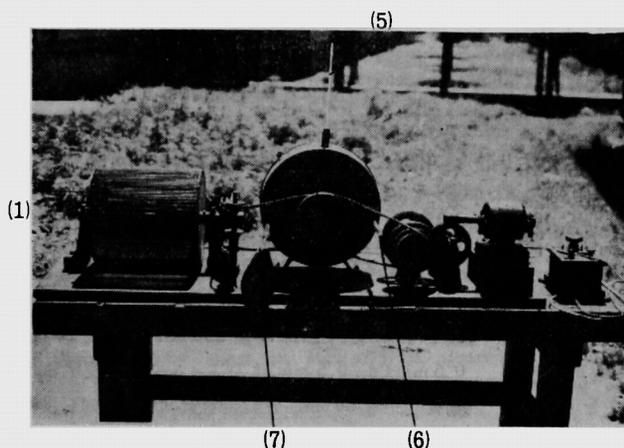
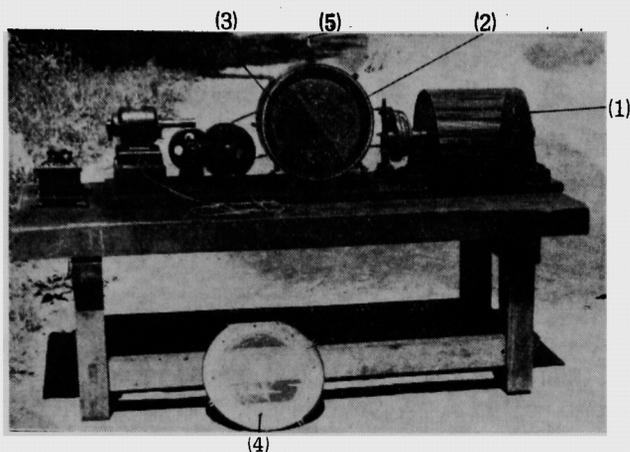
## 第 3 節 運動負荷法

運動負荷は円周 80 cm の円筒状梯子車を 1 分間 8 回転、6.4 m/min の速さで回転せしめ、此の中でマウス群を疾走せしめて行った。(第 1 図)

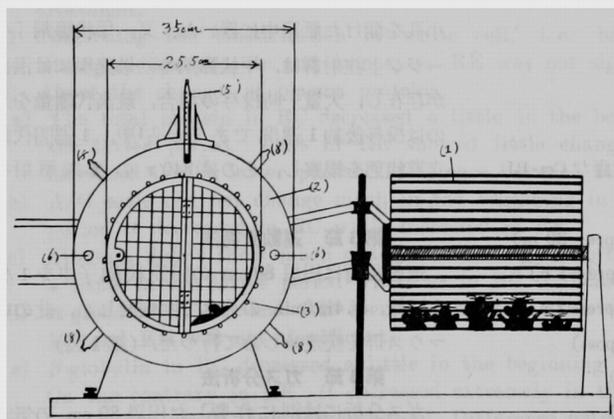
## 第 4 節 ガス分析法

ガス分析には別に作製した円周 80 cm の気密室内梯子車を 1 分間 8 回転、6.4 m/min の速さで回転し(第 1 図参照)、この中で運動負荷の各群 1 匹づつを疾走せしめ、運動負荷を要しない群は回転を行わずに、呼吸ガスを採取し、Scholander 微量ガ

第1図(1) マウス運動器



第1図(2) マウス運動器略図



- (1) 円筒状梯子車 (2) 気密室 (3) 気密室内梯子車  
 (4) 気密室蓋 (5) 温度計 (6) 空気孔 (7) ゴム球  
 (8) 蓋とめ金

ス分析器(406)を用いて酸素消費量、炭酸ガス排泄量を測定した。尚、測定時気温は  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  で一年中で最も安定した平均気温を示す季節を選んで測定した。又、運動負荷を要しない測定の場合、マウス1匹を入れるに必要にして十分な大きさの金網籠中に入れ安静を維持せしめた。食事が代謝に及ぼす影響は大であるので、食餌はオリエンタル酵母会社製の固形飼料(NMF)を用い、常時マウスの好む時に摂取し得る如くした。かくすると鼠族の習性として夜間に好んで食物を摂取し、実験時間中は食事の影響は殆んどないと考えられる。

著者の実験における R. M. R. の算出方法を述べるに当たり、先づ R. M. R. について説明すると、生体が普通の環境下で運動を一定時間継続した時のエネルギー代謝の変動を模式的に描くと第2図の如く表わされる。四辺形  $o, u, f, g$  で囲まれた部分が、正常覚醒時の最低水準のエネルギー代謝量、即ち基礎代謝量である。次に四辺形  $o, u, b, g$  で囲まれた部分は同一環境下で椅子に腰を掛けて安静を保持した場合に消費されるエネルギー即ち安静時代謝量を表わしている。さらに  $o, b, c, d, e, g$  で囲まれた部分は一定時間 ( $o \rightarrow m$  まで) 運動を行い、その後運動による影響が消失するまでの間 ( $m \rightarrow g$  まで) の全消費エネルギーを表わしている。そして、この全消費エネルギーより同時間内の安静時代謝量を引いたもの、すなわち  $b, c, d, e$  で囲まれた部分は運動代謝量に相当する。これは運動そのものに費されるエネルギーを表わしている。この運動代謝量 ( $b, c, d, e$ ) の運動時間内基礎代謝量 (四辺形  $o, u, l, m$ )

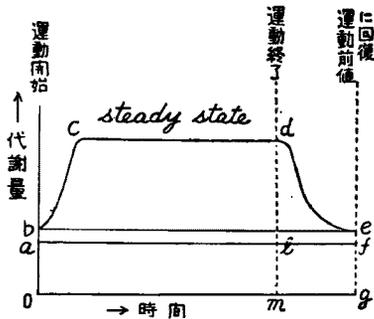
に対する割合がエネルギー代謝率 (R. M. R.) である。即ち、

$$R. M. R. = \frac{\text{(作業時間消費エネルギー)} - \text{(安静時消費エネルギー)}}{\text{基礎代謝}} \dots\dots\dots(1)$$

或は、酸素消費量で表わすと

$$R. M. R. = \frac{\text{(全測定時間内運動時酸素消費量)} - \text{(全測定時間内安静時酸素消費量)}}{\text{運動時間内基礎代謝時の酸素消費量}} \dots\dots\dots(2)$$

第2図 運動代謝量模型図



で表わされる。

著者の実験では基礎代謝時の酸素消費量を求め得なかつたので、次に述べる方法で得た安静時酸素消費量を以つて基礎代謝時の酸素消費量に代えた。

即ち、最初に外気(教室内空気)の酸素量(容量%)を求め、気密室とゴム球内採取量(気密室に附属する空気孔にゴム管を介して2ヶのゴム球を接続し、1球は真空、他球は外気を必要量採取し、両球の間に気密室内の空気を往復させて気密室内空気の混和を計ると同時にサンプルを採取するために利用したゴム球内採取量)を加えた容積内に含まれる酸素量(A c.c.)を求めた。次にマウスを前述の金網籠中に入れて暫時安静を保たしめ、そのまま気密室内に入れ、運動負荷の時間より1時間長く気密室内で呼吸せしめ、運動終了後1時間目に室内空気を十分に混和して気密室に連結したゴム球に採取し、Scholander 微量ガス分析器で該空気中の酸素量(B c.c.)を求め、A c.c. - B c.c. = M c.c.を全測定時間内安静時酸素消費量とした。第3に、再び気密室及びゴム球に外気を入れ、マウスを金網籠から出して気密室内梯子車中におき、梯子車を前述の速さで回転せしめて運動負荷を行つた。運動負荷後1時間マウスは、その呼吸が運動前に回復するまで気密室内におき、前述の方法で気密室内空気を採取し、該空気中の酸素量(C c.c.)を求め、A c.c. - C c.c. = N c.c.は全測定時間内運動時酸素消費量である。しかして、この運動による R. M. R. を次の式で求めた。

$$R. M. R. = \frac{N - M}{\text{運動時間}} \times M \dots\dots\dots(3)$$

第3章 実験成績

(1) ガス分析成績

ガス分析の成績は第1表に示す如くである。

i) RC: 照射の前後において、炭酸ガス排泄量、

第1表 ガス分析結果

		CO <sub>2</sub> 排泄量 cc/h/10g	O <sub>2</sub> 消費量 cc/h/10g	R. M. R.
RC	前	45.3	59.6	
	後	43.6	56.2	
	増加率	-3.97%	-5.70%	
EC	前	35.8	44.0	0.7038
	後	44.6	59.2	
	増加率	24.67%	34.17%	
REpre-30m	前	42.7	48.7	0.6666
	後	51.7	65.5	
	増加率	21.08%	34.50%	
REpre-1h	前	35.8	44.0	0.7038
	後	44.6	59.2	
	増加率	24.67%	34.17%	
RE pre-2h	前	33.3	43.4	0.7492
	後	42.9	61.3	
	増加率	28.83%	41.24%	
RE post	前	30.6	42.6	0.7186
	後	38.0	53.3	
	増加率	24.13%	25.17%	
	前	33.2	42.1	
	第1日	36.5	49.0	
	第2日	35.9	53.8	
	第3日	25.8	48.8	
	第4日	43.1	52.6	
	第5日	43.9	60.2	
	第6日の「前」に対する増加率	33.23%	42.99%	

酸素消費量共に大差を認めない。

ii) EC: 1時間の強い運動負荷により, 炭酸ガス排泄量, 酸素消費量共に増加を示し, 各々の増加率は3例平均夫々24.67%, 34.17%である。R. M. R. の算定式の基礎代謝量の代りに該温度における安静時代謝量を用いて, 同温度における運動代謝量を除した値は0.7038である。(3)式による。以下も同様)

iii) REpre-30m: 30分間の強い運動負荷により, 炭酸ガス排泄量, 酸素消費量共に増加を示し, 各々の増加率は3例平均それぞれ21.08%, 34.50%である。RMR の値は0.6666である。

iv) REpre-1h: 1時間の強い運動負荷により, 炭酸ガス排泄量, 酸素消費量共に増加を示し, 各々の増加率は3例平均それぞれ24.67%, 34.17%である。R. M. R. の値は0.7038である。

v) REpre-2h: 2時間の運動負荷により, 炭酸ガス排泄量, 酸素消費量共に増加を示し, 各々の増加率は2例平均それぞれ28.83%, 41.24%である。R. M. R. の値は0.7492である。

vi) REpost: 照射後1時間の強い運動負荷により, 炭酸ガス排泄量, 酸素消費量共に増加を示し, 各々の増加率は2例平均それぞれ24.13%, 25.17%である。R. M. R. の値は0.7186である。

vii) TR: 甲状腺剤の効力発現には潜伏期が存在し, 大量一時投与の場合, 最高代謝量を示すのは投与後約1週間であるから, 1週間代謝量を測定した。第6日の投与前値に対する増加率は炭酸ガス排泄量33.23%, 酸素消費量42.99%である。

以上の如く運動負荷による炭酸ガス排泄量, 酸素消費量の増加率は平均それぞれ24.68%, 33.85%であり, R. M. R. の算定式の基礎代謝量の代りに安静時代謝量を用いて得た値は平均0.7084である。尤もこの R. M. R. 値は人間の場合と比較すると極めて低い値であるが, それは基礎代謝量の代りに, 前述の様に安静時代謝量を用いたことに原因があると考えられる。ちなみに, 相浦によれば, マウスを用いて行つた R. M. R. は0.51であり, 著者の成績とはほぼ同じ程度である。(詳細は後述)

## (2) 生存率試験

各群の生存率曲線は第3図に示す如くである。

### 660 r 照射群

EC: 30日間生存したのは9匹中8匹であつた。30日生存率は89%であつた。

RC: 30日間生存したのは20匹中14匹であつた。30日生存率は70%であつた。

REpost: 30日間生存したのは20匹中15匹であつた。30日生存率は75%であつた。

REpre-1h: 30日間生存したのは20匹中19匹であつた。30日生存率は95%であつた。

30日生存率についてカイ自乗検定法で差の検定を行うと, 5%限界で,

- ① RC と REpre-1h の間……………有意差あり
- ② REpost と REpre-1h の間……………有意差あり
- ③ RC と REpost の間……………有意差なし

### 660 r 照射群

EC: 30日間生存したのは9匹中8匹であつた。30日生存率は89%であつた。

RC: 10匹中30日間の生存例はなかつた。30日生存率は0%であつた。

REpost: 10匹中30日間の生存例はなかつた。30日生存率は0%であつた。

REpre-1h: 30日間生存したのは10匹中5匹であつた。30日生存率は50%であつた。

30日生存率について R. A. Fisher の直接確率計算法で差の検定を行うと, 5%限界で,

- ① RC と REpre-1h の間……………有意差あり
- ② REpost と REpre-1h の間……………有意差あり
- ③ RC と REpost の間……………有意差なし

### 840 r 照射群

EC: 30日間生存したのは9匹中8匹であつた。30日生存率は89%であつた。

RC: 10匹中30日間の生存例はなかつた。30日生存率は0%であつた。

REpost: 30日間生存したのは10匹中1匹であつた。30日生存率は10%であつた。

REpre-30m: 30日間生存したのは10匹中2匹であつた。30日生存率は20%であつた。

REpre-1h: 30日間生存したのは10匹中5匹であつた。30日生存率は50%であつた。

REpre-2h: 30日間生存したのは9匹中3匹であつた。30日生存率は33%であつた。

TR: 10匹中30日間の生存例はなかつた。30日生存率は0%であつた。

30日生存率について, R. A. Fisher の直接確率計算法により差の検定を行うと, 5%限界で

- ① RC と REpre-30m の間……………有意差なし
- ② RC と REpre-1h の間……………有意差あり
- ③ RC と REpre-2h の間……………有意差あり
- ④ REpost と REpre-30m の間……………有意差なし

- ⑤ REpost と REpre-1h の間……有意差あり
- ⑥ REpost と REpre-2h の間……有意差なし
- ⑦ TR と REpre-30m の間……有意差なし
- ⑧ TR と REpre-1h の間……有意差あり
- ⑨ TR と REpre-2h の間……有意差あり
- ⑩ RC と REpost の間……有意差なし
- ⑪ RC と TR の間……有意差なし

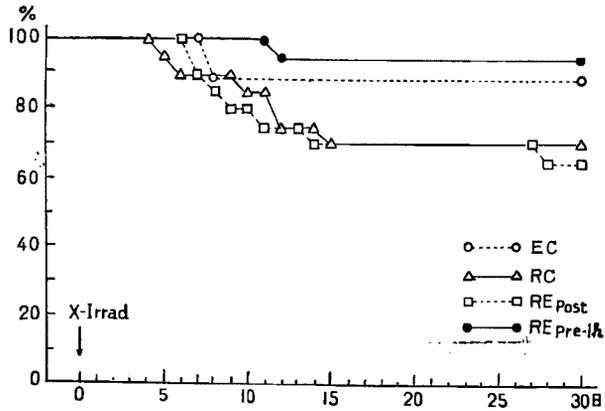
以上の如く、照射前運動群は殆どの場合、照射群及び照射後運動群より有意の差を以て30日生存率は良好であつた。又、照射後運動群は照射対照群と30日生存率において差を認めなかつた。これは第1編の海猿の成績と矛盾するが、種による相違ではなかろうかと思ふ。甲状腺剤「チラーヂン」注射による代謝の亢進では生存率は低下した。

(3) 体重変化率 (840 r 照射群)

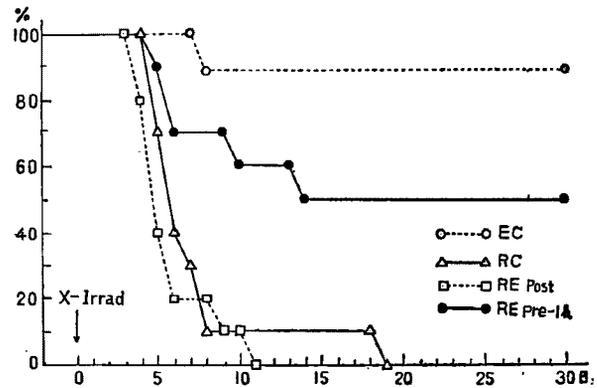
体重変化は第4図に示す如くである。

- i) EC: 全経過を通じて、殆んど変化を認めなかつた。
- ii) RC: 初期には急激な減少を、1週間目以後は緩徐な減少を示し、全く回復の傾向を示さなかつた。
- iii) REpost: 1週間目より2週間目にかけて減少を示したが、17日目以後は回復傾向を示す様に見えるが、これは生き残つた1例のみの値であるので例外的なものであろう。
- iv) REpre-30m: 2週間目までは減少を示すが、その後は回復傾向を示した。
- v) REpre-1h: 2週間目の終わりから、3週間目の初めまで減少を示したが、その後は急激に回復した。
- vi) REpre-2h: 2週間目までやや減少傾向を示したが、その後は回復を示した。
- vii) TR: 1週間の終りまで著変を示さないが、2週間目の初めより急減を示さないが、2週間目の初めより急減を

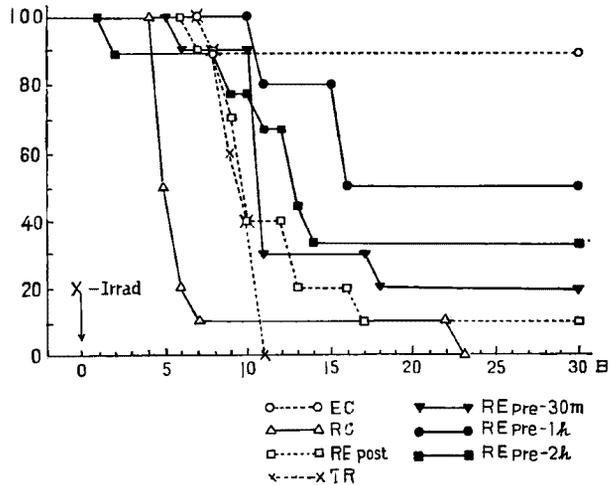
第3図 生存率 (1) 600 r



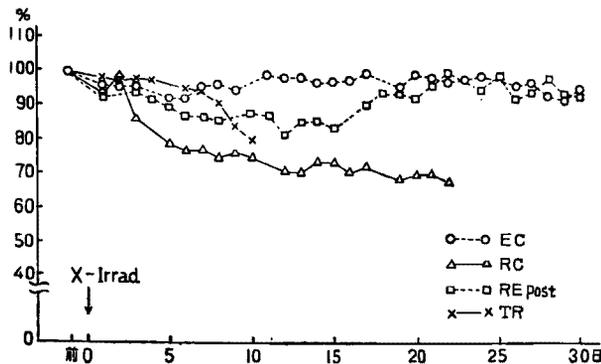
(2) 660 r



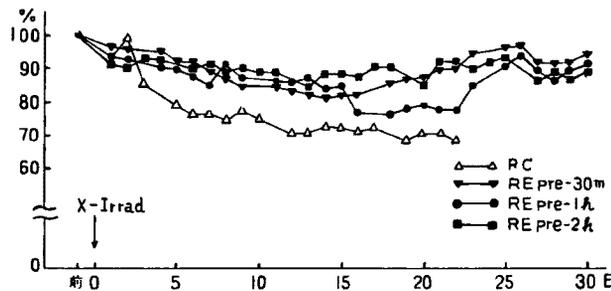
(3) 840 r



第4図 体重変化 (1)



体重変化 (2)



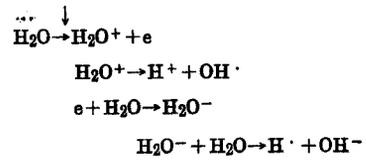
示す。

Kimeldorf et al<sup>16)</sup> はラットを X-線照射後、水槽内で強制游泳運動を负荷せしめると、その生存率は低下すると述べ、Smith, F. & Smith, W. W<sup>7)</sup> はマウスを X-線照射後円筒状運動器内で疾走せしめ、照射後運動群も照射のみの群と生存率において差は認められなかつたと述べている。又、Brown & White<sup>8)</sup> はラットを照射前に游泳運動を负荷せしめ、疲労困憊の間に <sup>60</sup>Co 照射を行うと、照射後游泳運動を负荷せしめた群より生存率の良好なる結果を示し、照射時に Anoxia の状態であれば生存率は高くなると結論している。

放射線の生物に対する作用機構として、2つの説が唱えられている<sup>9)</sup>。即ち、

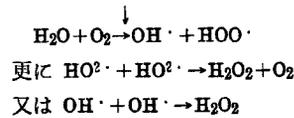
- ① 標的説 (Target theory)
- ② 間接説 (Indirect theory)

である。この中、間接説によれば放射線が生物作用を来すのは、生体内媒質としての水が活性化され、この活性化された水が二次的に作用して障害を惹起すると述べられている。放射線による水の活性化について諸説があるが、Lea<sup>10)</sup> によると、



結局  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}\cdot + \text{OH}\cdot$  となり、unpaired electron を持った遊離基が生じ、この活性によつて二次的に溶質が作用を受ける。

もしも  $\text{O}_2$  が溶存していると、



となつて、これらの activated free radicals による強い酸化が生体細胞内に起されると説明されている。かくの如く、酸化的遊離基の生成には生体内溶存酸素が大きな要因となつている。この理論に基いて放射線障害予防に、低酸素環境下に動物を置いた実験<sup>11)</sup>、又は、Tissue anoxia を惹起せしめる薬剤を用いる学者も多数ある<sup>12)13)14)15)</sup>。一方、強い運動

負荷によつて動物は酸素負債の状態を惹起し<sup>16)</sup>、生体組織の酸素張力は低下を来す<sup>17)</sup>。かくして、強い運動負荷を与えた動物は酸化的遊離基の生成がおさえられることになり、放射線障害は起り難くなることが想定される。著者の実験で、照射前運動群が照射対照群より生存率の良好なる結果を得たのはかかる事実に基くものと思ふ。

代謝量判定の爲の呼吸ガス分析法には種々のものがあり、緒方<sup>18)</sup> は氏の考按せる方法により、マウスの安静炭酸ガス排泄量は体重 10 g につき 1 時間で約 37.7 cc であると述べ、安東・田嶋<sup>19)</sup>、佐藤他<sup>20)</sup> は C<sub>3</sub>H 系マウスの安静時炭酸ガス排泄量及び酸素消費量はそれぞれ、30.6 cc/10 g/h、49.2 cc/10 g/h と述べている。又、Smith, W. W. & Smith, F.<sup>21)</sup> は NIH 系マウスの酸素消費量は 41.4 cc/10 g/h と述べている。相浦<sup>22)</sup> は常温 (19°C) におけるマウスの安静時酸素消費量は 61.2 cc/10 g/h、又、2.4 m/min の疾走を 5 分間運動負荷として与え、R. M. R. の算定式の基礎代謝の代りに該温度における安静時代謝量を用いて同温度における運動代謝量を除した値は 0.51 であると述べている。

著者の実験では安静時炭酸ガス排泄量及び酸素消費量はそれぞれ 36.7 cc/10 g/h, 46.3 cc/10 g/h で、炭酸ガス排泄量は緒方の値に近く、酸素消費量は佐藤他の値に近い。又、運動負荷による炭酸ガス排泄量、酸素消費量の増加率は平均それぞれ24.68%, 33.85%であり、R. M. R. の算定式の基礎代謝量の代りに該温度における安静時代謝量を用いて同温度における運動代謝量を除した値は、平均0.7084であつた。これは相浦の値より高い値であるが、疾走速度が大であるためであろう。又、著者の実験で、酸素消費量、炭酸ガス排泄量及び R. M. R. は運動量には殆んど関係なく(30分、1時間、2時間の順で次第に増加しているように見えるが、有意の差を認めなかつた)ほぼ等しい値を示したことは、前述の方法で運動を負荷せしめた場合、その強度が大体一定に保たれていると考えてよいであろう。しかして、実験が十分でないが、840 r 照射の場合から推察すると照射後の生存率は必しも照射前の運動量には比例していない。これは、照射前の運動負荷が生存率に対して好影響を与えることに対することに対する説明として、前述の如き Anoxia が惹起されることによるとの解釈にとつては、特に不都合な現象とは思われない。何となれば、運動直後における酸素負債の状態に対して組織における酸素分圧は、一定量の運動の後には運動強度がほぼ等しければ大差はないと考えてよいであろうからである<sup>20)</sup>。

甲状腺剤の影響に関し、北<sup>24)</sup> はマウスを絶食せしめ基礎代謝量を得たと述べ、この時の炭酸ガス排泄量及び酸素消費量をそれぞれ 27.8 cc/10 g/h 及び 35.8 cc/10 g/h と述べている。このマウスにサイロキシン 0.01 mg を1回注射すると、炭酸ガス排泄量及び酸素消費量は最高それぞれ16.0%, 20.8%の増加を示すと述べている。Smith, W. W. & Smith, F. <sup>25)</sup> は乾燥甲状腺を0.3%の割合で食物に混じて NIH 系マウスに与えると、7日の終りには basal O<sub>2</sub> consumption は50%増加し、X-線照射後の4週間生存率は対照群より有意の差を以て低くなると述べている。著者は甲状腺剤「チラーゼン」を体重 10 g につき 0.2 cc, の割合で注射し、注射後第6日の注射前値に対する増加率を検すると、炭酸ガス排泄量、酸素消費量の増加率はそれぞれ 33.23%, 42.99%であつた。又、X-線照射後の30日生存率は低下を見せている。これは Smith, W. W. & Smith, F. の結果と同じである。この場合は、生体全体としての代謝亢進が関係ありと考

られ、急激な運動時及び直後の酸素欠乏乃至酸素負債の如き現象は見られないわけで、同程度に代謝の亢進を示すとはいえ、甲状腺剤投与の場合と、強度の運動負荷の場合とではこの様な差が放射線照射に対する感受性の相異として現われて来ると考えられる。

## 第5章 結 論

放射線被曝の前後における強度の運動負荷が如何なる意義を有するかを検討する目的で、C<sub>57</sub>-BL マウスを

- ① 照射直前30分間運動負荷群
- ② 照射直前1時間運動負荷群
- ③ 照射直前2時間運動負荷群
- ④ 照射後運動負荷群
- ⑤ 運動対照群
- ⑥ 照射対照群
- ⑦ 甲状腺剤「チラーゼン」注射群

の7群に分け、各々の生存率、体重変化及びガス代謝量を検し、次の結論を得た。

i) 運動負荷の各群は運動負荷により、ガス代謝量は非常に増加し、酸素消費量は平均33.85%の増加を認めた。

ii) 甲状腺剤「チラーゼン」注射群は注射後6日目に最高ガス代謝量を示し、酸素消費量は42.99%の増加を認めた。

iii) 照射前運動群は照射対照群及び照射後運動群に比し生存率は良好であつた。

iv) 照射前運動群の照射後の生存率は必ずしも照射前の運動量に比例しなかつた。

v) 照射後運動群の生存率は照射対照群と差がなかつた。

vi) 甲状腺剤「チラーゼン」注射による代謝の亢進では生存率は低下した。

vii) 体重の変化は、照射対照群では減少一途をたどるが、照射前運動群は照射後3週間目以後は回復した。

viii) 甲状腺剤「チラーゼン」注射群は、照射後2週間目以後体重の急減を認めた。

稿を終るに臨み、終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜つた、恩師大平教授並びに本研究中多大の御援助をいただいた望月助教授及び教室員各位、又、X-線照射に御便宜をいただいた放射線学教室に深甚の謝意を表します。

(本論文の要旨は第3回放射線影響学会において発表した)

## 文 献

- 1) Ruch, T. C. & Fulton, J. F. : *Med. Physiol. and Biophys.*, 1115, (1960).
- 2) 額田 晋, 額田 焜 : *薬理学*, 123, (昭和34年4月).
- 3) Scholander, P. F. : *Science*, 95, 177, (1942).
- 4) Scholander, P. F., et al : *J. Biol. Chem.*, 148, 497, (1943).
- 5) 笹本浩他 : *呼吸と循環*, Vol. 1, No. 2, 115~120, (1953).
- 6) Kimeldorf et al : *Science*, 112, July~Dec., 175~176, (1950).
- 7) Smith, F. & Smith, W. W. : *Amer. J. Physiol.*, June, Vol. 165, 662~666, (1951).
- 8) Brown, W. L. & White, R. K. : *Radiation Research*, Vol. 13, No. 4, October, 610~616, (1960).
- 9) Date, W. M. : *Radiation Biology*, Vol. 1, Part 1, 255~281, (1954).
- 10) Lea, D. E. : *Action of Radiations on Living Cells*, 47~64, (1956).
- 11) Dowdy, A. H., Bennett, L. R. and Chastain, S. M. : *Radiology*, 55, 879 (1950).
- 12) Storer, J. P., Rosenberg, S. A. and Friedell, H. L., : *Cancer*, 6, 1244, (1953).
- 13) Cole, L. J., Bond, V. P. and Fishler, M. C. : *Science*, 115, 644, (1952).
- 14) Gray, J. L., Moulden, E. J., Tew, J. T. and Jensen, H. : *Proc. Soc. Exper. Biol. Med.*, 76, 384, (1952). *Med. Rad. Biol.*, F. Ellinger (1957) より引用.
- 15) Storer, J. B. and Hempelmann, L. H. : *Am. J. Physiol.*, 171, 349, (1952).
- 16) Miller, A. T. : *Physiol. of Exerc.*, 64, (1953).
- 17) Miller, A. T. : *Physiol. of Exerc.*, 155, (1953).
- 18) 緒方章, 田中時彦 : *薬学雑誌*, 58巻, 2号, 111, (昭和13年2月).
- 19) 安東洪次, 田嶋嘉雄 : *動物実験法*, 104, (昭和31年8月).
- 20) 佐藤正夫, 柳瀬敏幸, 石丸秀敏 : *実験動物彙報*, 4巻, 43~46, (昭和30年).
- 21) Smith, W. W., & Smith, F. : *Am. J. Physiol.*, June, Vol. 165, 651~661, (1951).
- 22) 相浦辰猪 : *産業医学*, 1巻, 4号, 384, (昭和34年8月).
- 23) Christensen, E. H. & Högberg, P. : *Arbeitsphysiologie*, Bd. 14, S. 249~250, (1950).
- 24) 北 光三 : *内分沁学雑誌*, 第1巻, 142~162.
- 25) Smith, W. W. & Smith, F. : *Am. J. Physiol.*, Vol. 165, June, 639~650, (1951).

**Experimental studies on the effect of exhaustive physical  
exercise against radiation injury.**

**Part 2**

By

**Kazuma Okahira**

The Department of Hygiene, Okayama University Medical School.  
(Director: Prof. M. Ohira, M. D.)

C<sub>57</sub>-Black female mice were divided into the next 7 groups for the purpose of examining the effects of the exhaustive physical exercise before and after the irradiation.

- Group 1. Exercised for 30 minutes directly before the irradiation (RE pre-30 m.)  
 Group 2. Exercised for 1 hour directly before the irradiation (RE pre-1h)  
 Group 3. Exercised for 2 hours directly before the irradiation (RE pre-2h)

- Group 4. Exercised for 1 hour after the irradiation (RE post) This exercise was continued for 30 days at the rate of 1 hour per day and 6 days per week after irradiation.
- Group 5. Exercised control (EC) This exercise was the similar as that in Group 4
- Group 6. Radiated control (RC)
- Group 7. "Thyradin" injected (TR)  
"Thyradin" (thyroid preparation) was injected 0.2 c. c. (contains 10% of iodine) per 10 grams of body weight, and then the animals were exposed to X-ray on the 7th day after irradiation. Exercised groups were made to run in the cylindrical tread-mill (80 cm in circumference, 8 rotations per minute, i. e. the animals have to run at a speed of 6.4 m per minute).

Irradiated groups received 600 r, 660 r and 840 r of X-ray at 99 r per minute.

Gas analyses were done in order to evaluate the metabolic level of the exercise on one mouse in each group which was made to run in another tread-mill of the same diameter, rotating in the same speed as one described above, and located in an air-tight chamber shown in fig. 1. The air sample from this chamber was analysed with Scholander's apparatus.

This results are as follows:

- 1) The metabolism increased by the exercise showing 33.85% (mean) increased of the oxygen consumption.
- 2) The metabolism was accelerated gradually by the "Thyradin" treatment arriving the maximum around the 6th day after the injection, showing 42.99% of the increase of oxygen consumption.
- 3) The survival rate in the groups which were exercised before the irradiation was higher than that in the group of radiated control and the group exercised after the irradiation. The difference of the survival rate between the groups exercised before the irradiation and the groups exercised after the irradiation was significant ( $P < 0.05$ ).
- 4) The survival rate in the groups which were exercised before the irradiation was not in proportion to the quantity of the exercise before the irradiation.
- 5) The metabolism was increased by the injection of "Thyradin" and lowered the survival rate.
- 6) The weight in the group of radiated control dropped down day by day, but in the group exercised before the irradiation began to recover after three weeks of irradiation.
- 7) The weight in the group injected "Thyradin" decrease extremely 2 weeks after the irradiation.