

(昭和十九年五月發行)

## 振動の生體に及ぼす影響\*(1)

所員 淡路 圓治郎

### 内 容

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| I 序 .....                     | 233 |
| (1) はしがき .....                | 233 |
| (2) 振動の影響 .....               | 234 |
| (3) 課題と方法 .....               | 235 |
| (4) 装置の方式 .....               | 235 |
| (5) 動物振動装置 .....              | 236 |
| II 第1實驗 種々なる振動の生體に及ぼす影響 ..... | 238 |
| (1) 實驗の計畫 .....               | 238 |
| (a) 實驗の目的 .....               | 238 |
| (b) 實驗の條件 .....               | 239 |
| (c) 實驗の期間 .....               | 241 |
| (2) 實驗結果の概要 .....             | 241 |
| (a) 振動の危険限界 .....             | 241 |
| (i) 振動死の起發状況 .....            | 241 |
| (ii) 振動方式による死亡率の比較 .....      | 245 |
| (iii) 性別による振動死の比較 .....       | 246 |
| (iv) 振動死の時間的條件 .....          | 247 |
| (v) 振動死の加速度的條件 .....          | 250 |
| (vi) 期待線の數學的處理 .....          | 251 |
| (b) 振動死の所見 .....              | 255 |
| (c) 實驗後の死亡 .....              | 257 |
| (d) 振動死の前驅兆候 .....            | 258 |
| (i) 各種兆候の出現状況 .....           | 258 |
| (イ) 呼吸深化 .....                | 258 |
| (ロ) 頭 棘 .....                 | 261 |
| (ハ) 動作停止 .....                | 264 |
| (ニ) 運動不能 .....                | 267 |
| (ホ) 充血、出血 .....               | 270 |
| (ヘ) 其他の現象 .....               | 271 |
| (ii) 前驅兆候の序列 .....            | 271 |
| (3) 要 約 .....                 | 275 |

### I 序

#### (1) はしがき

最近に於ける航空の發達は、飛行機の速度の向上を著しく促進し、これに伴ふ乗員心身の負擔は甚だしく倍加せられつゝある。飛行機の速度記録は、逐次音速に接近し、これを突破

\* 本研究は文部省航空評議會振動委員會に於ける研究課題として研究に着手し、その後大日本學術振興會並に文部省科學研究費の補助を受けて目下進行中の實驗系列中的一部の業績である。

するのも單に時日の問題であるかに見受けられる。尤も、高速度そのものは敢へて憂ふるに足りないのであるが、高速化は當然急激なる速度變化を伴ひ、この加速度が乗員に及ぼす影響には決して閑却し難いものが豫想せられるのである。しかも、加速度作用は飛行速度の大となるにつれて、一般に甚だしきを加へることが期待せられるのであるから、速度の向上に伴ふ乗員の心身保全に關しては、諸般の対策を忽せにすべからざるものがある。

然るに、速度の向上は必然に機體の振動を甚だしからしめ、乗員に各種の影響を及ぼす。振動の乗員に對する影響は、専らその加速度作用に由るものであつて、生體に加へられる頻繁なる速度變化が常に問題となるのである。尤も、振動に於ける加速度は、旋回や急降下などの場合のやうな普通の加速度に較べると、程度がさまで大ではないけれども、變化が一般に不規則であることゝ、作用が概して持続的であるために、心身に及ぼす影響には、案外甚だしいものがあるやうである。

従つて、乗員保全の見地から、將來起り得べき飛行機の振動増加につき、乗員が當然蒙ると思しい心身上の影響と害惡の程度とを確め、これを未然に防止しまとその害惡を輕減するために必要な諸方策を考究することは、頗る肝要のことゝ思料せられるのである。

茲に報告する研究は、かかる意圖の下に計畫實施せられつゝある一聯の實驗的研究の序報であつて、まだ僅かに問題の一隅を衝いたものに過ぎないが、少くともこの種の問題の一部の基礎資料として、若干の参考に値するものと信ぜられるが故に、敢へて清謹に供して叱正を仰ぐ次第である。

## (2) 振動の影響

抑も、振動とは、一定の物體が往復的な空間變位を反覆する機械的な運動で、急激なる速度變化が頻繁に繰返へされる所に特徵がある。振動は謂はゞ一種の加速度現象で、衝擊の反覆連續とも見做し得られる。この衝擊的な加速度が生體に種々の影響を與へるのである。

生體は單純な固體ではなくて、複雑な物理的構造をもつ複合組織であるから、振動の及ぼす機械的作用は、身體の諸部分に於て、必ずしも一様ではない。力の働く方向とこれを受ける身體の姿勢との關係、即ち運動のベクトルに應じて、身體各部並に諸器官が蒙る影響の性質及び程度には格段の相違がある。従つて、生體の受ける影響は、夫々の場合に於ける力の場との關聯に於て、仔細に考察せられなくてはならないのである。

振動の生體に及ぼす影響は、機械的振動の直接結果たる局所障礙と、これに伴隨する全般的影響とに區別して考へるのを至當とする。これ等の影響中、多少とも顯著なるものを擧げると、次の如きものが豫想せられる。

- (1) 振動時に於ける知覺の混亂、注意の錯亂、動作の困難、作業能力の低下。
- (2) 振動に起因する局所的機能障碍及び不快、頭重、頭痛、眩暈、恶心、船酔その他の違和症狀。
- (3) 持續的振動の結果として生ずる興奮、神經過敏、疲勞並に困憊及び全身衰弱。
- (4) 過度若くは頻繁或は長期に亘る振動によつて惹起される各種の顯著なる害惡、例へば傷痍、内出血、痙攣、失神又は振動死などの恒久的障碍。

これ等の諸障碍は、一方に於て振動による脳脊髓、内臓その他の諸器官の轉移若くは震盪に基くと同時に、他方に於て體液特に血液の流體力學的衝擊による血行障碍若くは血管破裂

に起因する場合が少くない。而して、振動時に於ける身體の姿勢によつて、これ等の症狀は種々出現の様相を異にするのである。

### (3) 課題と方法

飛行機の振動の乘員に及ぼす影響に就ては、下の諸事項が研究課題として採上げられねばならぬ。

- (1) 各種振動の影響はそれぞれ心身諸機能の如何なる方面に最も顯著に現はれるか。
- (2) 振動の強度若くは持續時間の長短に應じて、生體の蒙る影響には如何なる差異が認められるか。また生體の耐へ得られる振動の限界程度はどれ位であるか。
- (3) 振動の因子たる振動數若くは振幅の孰れが比較的に大なる規定性を有してゐるか。
- (4) 立、座、臥各種の姿勢と水平動、上下動若くはその他の振動方式に於ける力の方向との關係即ち運動のベクトルに應じて、生體の受ける影響には如何なる變差が認められるか。
- (5) 振動に對する馴練がどの程度に振動耐性を高め得るか、また馴練效果の限度は如何。
- (6) 上の諸問題に關聯して、如何なる個人差が認められるか。その個人差を規定する主なる條件はどんなものか。年齢、性別、體質、健康、職業その他によつて、どんな相違があるか。
- (7) 振動の影響を輕減又は防止すべき手段としては、如何なる具體的方法が最も有效であるか。

これ等の諸問題の研究には、實驗の便宜上、一般に振動臺を使用し、これに人間若くは動物を乗せて、一定の姿勢に對し一定の規則的な振動を加へて、その影響を測定する方法が用ひられる。實際の飛行機に搭乗せしめて實驗することは、振動が概して複雜で不規則であるために、一義的な測定結果を得ることが難かしく、また時局柄、實施の困難な事情もあるので、實驗結果の追試以外には利用が出來ない。

振動臺による實驗も、裝置その他の關係上、多くは正弦波振動を使用し、運動方向も専ら水平動若くは上下動など一方向的なものを選び、多方向的な綜合振動は餘り用ひられない情況に在る。

振動の範圍としては、現在或は近い將來に於て飛行機に實際に生じ得べき種類並に程度のものに就き、實驗研究を試みれば事足る筈であるが、飛行機の進歩は極めて急激で、將來を豫斷し難い事情もあり、また振動の影響過程を明白且つ詳細に知るためには、もつと過酷なる條件の下に實驗を行ひ、基本的な法則關係を確定する必要もあるので、我々の實驗は専ら基礎研究に主眼を置き、故に實際には現はれないやうな極端な振動についても研究を試みることとした。

茲に報告する研究に於て、普通の飛行機では現はれないやうな場合が取扱はれてゐるもの、全く上の理由に本づくものであつて、畢竟、各種の現象を擴大して觀察するための計畫的意圖に由るものなることを諒察せられたい。

### (4) 装置の方法

振動裝置の機構としては、種々の方式が考へられる。

- (1) カムを用ひるもの　振動が間歇的であること、始動當初に衝擊性のあること、振動が

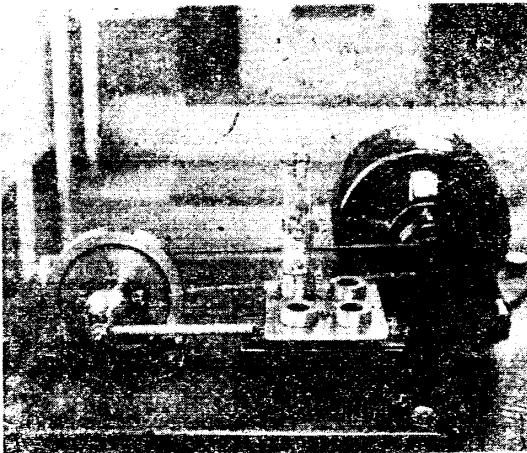
一方向に限られることなどの缺點がある。

- (2) バネを用ひるもの 振動が不規則なこと、振動の變化範囲が狭いこと、振動が一方向に限られることなどの短所がある。
- (3) 偏心盤を用ひるもの 振動が齊一で、偏心盤の交換によつて任意の振幅が得られるが、餘り小さな振幅や振動數の多いものは得られない。また、水平動以外には用ひられない。
- (4) 圧搾空氣を用ひるもの 総合振動が出来る長所はあるが、振動が不規則なこと、衝撃が入ること、及び打音による喧騒を免れないなどの缺點がある。
- (5) 電磁式によるもの 微細な振動が與へられ、割合に規則的であるが、餘り速い振動や大きな振幅のものは望めない。

以上の方は夫れぞれに特長があるから、實驗の目的に應じて、これ等の中で適當なる方式を選ぶべきである。我々は動物實驗に於ては、偏心盤によるものが簡単で比較的に狂ひも少ないので、(3) の方式による裝置を用ひたが、人體實驗の場合は、荷重の關係と水平動並に上下動を偕に必要とする關係から、(2) の方式のバネ裝置によることゝし、夫々別箇の振動實驗裝置を考案試作した。茲に報告する研究の部分は、専ら前者即ち偏心盤方式による振動臺を用ひ、動物（白マウス）に就き試みた一系の實驗結果の概要である。

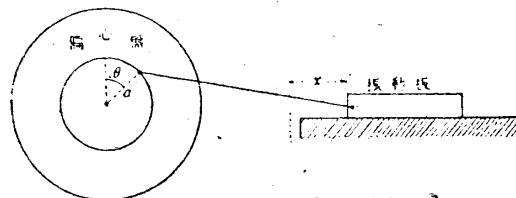
#### (5) 動物振動裝置

余の考案にかかる偏心盤式振動裝置に於ては、生體を載せたる振動板はシャフトによつて偏心盤に連結せられ、電動機の作動に伴ふ偏心盤の廻轉につれて、極めて規則正しい水平の往復運動を營む。



第1圖 動物振動裝置

この際、振動周期は偏心盤の廻轉數に、また振幅は偏心盤に於ける偏心距離（半徑）の2倍に相當する。而して、振動周期は電動機又は偏心盤の廻轉數の調整によつて、また振幅は適當なる偏心盤との交換によつて、夫れぞれ任意に變更せしめられる。



## 第 2 圖

今、偏心盤の偏心距離（半径）を  $a$  cm. とし、回轉數を  $n$  per sec. とすれば、各回の振動の最大加速度は、下の式の變化によつて、 $4a\pi^2n^2$  となる。

即ち、振動板の移動距離は

その速度は

$$\frac{dx}{dt} = a \cos \theta \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

従つて、その加速度は

然るに、等速回転にて、角加速度は 0 であるから、 $\alpha \cos \theta \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} = 0$  と見れば、

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -a \sin \theta \cdot \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2$$

$\theta = 2\pi nt$  と置き換へて、

然るに、最大加速度に於ては、 $\sin(2\pi nt)=1$  となるから、

従つて、地球の重力  $g$  即ち  $980.6 \text{ cm/sec}^2$  を単位として、振動の最大加速度を云ひ現はせば、

となる。

また、偏心距離  $a$  の代りに、振幅  $\alpha$  を用ひれば、 $\alpha=2a$  であるから、最大加速度は

である。

上の式によれば、この種の振動装置に於ては、振動の最大加速度は、機械的には、振幅よりも寧ろ振動数によつて、強く規定せられるものらしい。

\* 但  $\alpha$  = 振幅,  $\pi = 3.1416$ ,  $n$  = 振動數 = Hertz

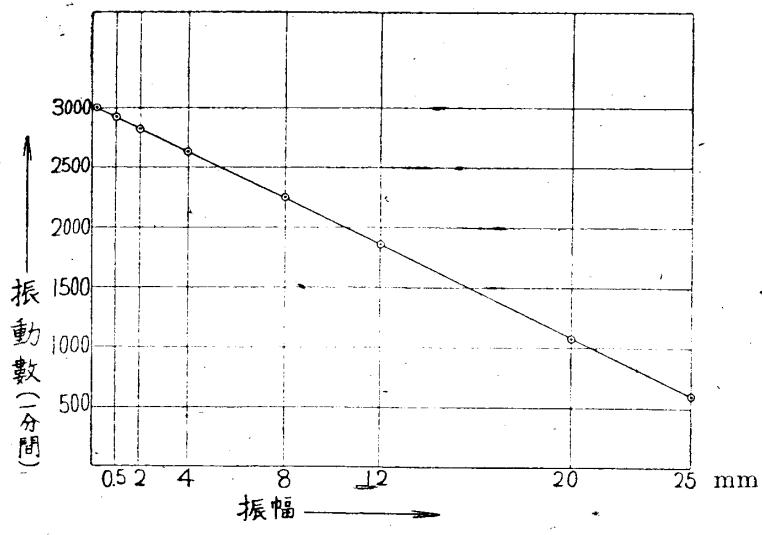
試みに、種々の振幅と種々の振動数とによつて、出現する振動の最大加速度の大きさを表示すれば、大體、下表の如くである。

最大加速度表 (単位 g)

| 1分間振動数<br>ヘルツ | 60    | 120  | 300  | 600  | 900  | 1200  | 1500  | 1800  | 2100  | 2400  | 2700  | 3000   |
|---------------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|               | 振幅 cm | 1    | 2    | 5    | 10   | 15    | 20    | 25    | 30    | 35    | 40    | 45     |
| 0.1           | 0.002 | 0.01 | 0.05 | 0.20 | 0.45 | 0.81  | 1.26  | 1.81  | 2.47  | 3.22  | 4.08  | 5.04   |
| 0.2           | 0.004 | 0.02 | 0.10 | 0.40 | 0.90 | 1.61  | 2.52  | 3.63  | 4.93  | 6.45  | 8.16  | 10.07  |
| 0.4           | 0.008 | 0.03 | 0.20 | 0.81 | 1.81 | 3.22  | 5.04  | 7.25  | 9.87  | 12.89 | 16.31 | 20.14  |
| 0.8           | 0.016 | 0.06 | 0.40 | 1.61 | 3.63 | 6.45  | 10.07 | 14.50 | 19.74 | 25.78 | 32.63 | 40.28  |
| 1.2           | 0.024 | 0.10 | 0.60 | 2.42 | 5.44 | 9.67  | 15.10 | 21.75 | 29.61 | 38.67 | 48.95 | 60.43  |
| 2.0           | 0.040 | 0.16 | 1.01 | 4.03 | 9.06 | 16.10 | 25.18 | 36.26 | 49.35 | 64.46 | 81.58 | 100.71 |

例へば、1分間 60 d.v. 即ち 1 Hertz (Hz) の周期で、振幅が 0.1 cm の場合には、最大加速度は僅かに  $0.002 g$  であるに過ぎないが、振動周期が 50 Hz 即ち 1 分間 3000 d.v. の振動数となり、振幅も亦た 2 cm に増大したとすれば、最大加速度は實に  $100 g$  といふ駄くべき値に達する計算である。

尤も、余の考案せる振動装置では、振動臺の機構及び電動機 (1/2 HP., 3000 v.) の性能上、今まで廣範囲の變化は望み難く、振幅と振動数との組合せによつて、最大加速度の範囲は最低  $4 g$ 、最高  $25 g$  の間に制限せられてゐる。この間の關係を圖示すれば、大約、下圖の如くである。



第 3 圖

## 2 第1實驗 種々なる振動の生體に及ぼす影響

### (1) 實驗の計畫

#### (a) 實驗の目的

飛行中に現はれ得べき各種の振動中、横揺れ rolling, 縦揺れ pitching, 偏揺れ yawing 等

の重心固定的な動搖と、水平動若くは上下動等の重心移動的な振動と、さらに瞬間的で急減性の衝撃 Ruck とは、研究上、厳密に區別せられなければならない。尤も、實際の飛行機では、これ等の各種の振動が種々の原因に應じて複合的に現はれ、複雑で不規則な混合形態を示すのであるから、これを規則的な諸元に分析することは甚だ困難であるけれども、これ等各種の振動が生體に及ぼす影響には、可成り明白な差異があるから、實驗上はこれ等の諸元につき一應根本的な研究を遂げて置く必要がある。

我々の實驗では、振動装置の關係上、特に水平動を選び、これを生體の種々なる姿勢に作用せしめ、「縦振り」即ち身體軸正中線に併行的な往復運動、「横振り」即ち身軸體を左右に横斷する往復運動、並に「堅振り」即ち身體軸を腹背の方向に横断する往復運動の三振動方式につき、その影響を測定することとした。

而して、振動の強度としては、夫々 10~25 g のものを選び、これを 1~16 分間生體に作用せしめ、これに本づく振動死及び種々の前驅徵候につき觀測を試みたのである。

使用した被驗動物は白マウスで、生後 3~5 頃月の成熟状態に在り健康榮養十分なるものを選び、雌雄各半數、毎回 10 匹宛を使用し、實驗直後の反應を觀測し、生存せるものに就ては、その後 1 頃月間に亘り生活經過を調査した。

この實驗に於て、特に振動死なる極端な現象に着眼した理由は、この現象が明確で觀察に誤りなきことがその一であり、またかゝる苛烈なる條件下に於て觀察する方が諸種の影響を擴大倍加して把捉するのに便利で、各種條件の比較検討には極めて好都合であることがその二である。蓋し、振動による心身諸機能の變化は區々であり、その出現状況も複雑多岐であるから、なるべく一義的に觀察し得られる徵候を先づ捉へることが望ましく、これを基準として諸他の前驅徵候を判定することが研究上便宜であり、また本實驗に於ては、具體的影響そのものよりは、各種の振動の效果の比較に重點が置かれてゐるので、寧ろ比較し易い現象を捉へて吟味する方が好都合であるからである。

従つて、本實驗の目的は、必ずしも振動死そのものの研究に在るのではなく、謂はゞ振動死を手段として、各種振動方式の效果を比較研究せんとするものであることを、十分に銘記せられたいのである。

#### (b) 實驗の條件

體軀に對する振動負荷の方向によつて、振動死並にその各種前驅徵候の出現に、如何なる差異があるかを確めるために、我々は白マウスを被驗動物に選び、下記の實驗條件に於て、一定時間の持続振動を與へて、その影響を調査した。

1. 振動經驗なき成熟せる白マウスを一匹宛、振動用硝子管中に收め、これを振動板上に堅又は横に取付け、これに一定時間の水平動を加へる。
2. 動物の姿勢と振動板の運動との關係から、白マウスに與へられる振動の方向は、下の 3 種となる。
  - (イ) 前後振 身體軸乃ち脊柱の線に沿うて、往復的加速度が與へられる。
  - (ロ) 左右振 身體軸を横切つて、左右の方向に往復的加速度が與へられる。
  - (ハ) 堅 振 前肢を上に直立せる動物に對し、身體軸を横切つて、腹背の方向に往復的加速度が與へられる。

尚ほ、以上3種の場合に於て、地球の重力は、前後振並に左右振では身體軸とは直角に、また堅振では身體軸に並行して加はるから、この相違が夫々の場合の振動効果に多少は反映する筈である。

3. 振動の強度は、振動死を出現せしめる關係上、實際の飛行機の場合よりは苛烈に、大體 10~20 g のものを使用した。

- (イ) 10 g ..... (電動機回轉 每分 2100, 振幅 4 mm)
- (ロ) 13 g ..... (" 2400, " 4 mm)
- (ハ) 15 g ..... (" 1500, " 12 mm)
- (=) 16 g ..... (" 1200, " 20 mm)
- (ホ) 18 g ..... (" 2000, " 8 mm)
- (ヘ) 20 g ..... (" 1350, " 20 mm)

なほ、特別の場合として、これ以上若くはこれ以下の加速度を併用した。

4. 上記諸種の振動の持続時間としては、下の4通りを選び、必要に應じて、それ以下の短時間の場合をも試みた。

- (イ) 2 分間
- (ロ) 4 分間
- (ハ) 8 分間
- (=) 16 分間

特別の場合には、1分間振動實験を行つた。

5. これ等の實驗條件下に於て、白マウスは1回だけ振動に曝されたる後、硝子管より卓上に取出され、振動終了直後の状態並に反応につき仔細に検査せられる。

尚ほ、特に振動によつて死亡せるものに關しては、一定箇數を選び解剖に附し、死因に就き詳細に調査し、また生存せるものに對しては、その後1箇月間に亘り豫後の経過及び生活状態を綿密に觀察の上、振動の影響の殘存効果につき記録した。

6. かくの如くにして得られた實驗成績は、同一實驗條件下に在る 10~20匹を夫々一群として取纏め、特に下の諸事項に應じて、整理せられる。

- (イ) 最大障害たる振動死に達する迄に、動物は如何なる前駆徵候を如何なる順序に於て呈示するか。夫々の徵候を生起するに必要な振動條件は如何なるものであるか。
- (ロ) 振動の方向即ち前後振、左右振並に堅振の如何によつて、同一の強度並に時間の振動の生體に及ぼす影響には如何なる差異が認められるか。振動方向に應じて、生體に最も有利なる姿勢はどれであるか。
- (ハ) 振動強度の増減につれて、動物の示す振動死並に諸種の前駆徵候には如何なる變化があるか。振動強度と反応との間には、如何なる函數的關係が存在するか。
- (=) 振動持続時間の伸縮に應じて、動物の示す反応には如何なる變化があるか。兩者の間の函數的關係はどんなものか。各種の振動の影響には、時間上效果の現はれるための時間餘裕 Zeitreserve の限界があるか。また、強度上にも、強度餘裕 Intensitätsreserve の存在が認められるか。

(ホ) 以上の諸事項を通じて、振動の影響にはどの程度の個體差が認められるか、特に、栄養状態や性別によつて如何なる差別が現はれるか。

これ等の諸問題の解明に資し得るよう、實驗の結果は適當に處理せられたのである。

#### (e) 實驗の期間

以上の計畫に本づき、一連の振動實驗は、昭和 16 年 2 月より同 17 年 9 月まで、約 1 箇年半に亘つて實施せられ、使用動物の實數は略 2000 匹に達した。

### (2) 實驗結果の概要

#### (a) 振動の危険限界

##### (i) 振動死の起發狀況

先づ、前後振、左右振並に堅振の各種振動方式につき、振動加速度の増大若くは振動時間の延長に伴ひ、振動死の出現狀況に如何なる變化が生ずるかを見るために、各種條件下に於ける白マウス群の振動死亡率を調査するに、下表の如くである。(表中の數字は各群 10 匹宛の動物中、振動中に死亡せるものゝ實數を示し、括弧中の數字は、振動實驗終了直後より 1 箇月以内に亘り、他に特別の原因なきにも拘らず死亡せるものゝ實數を現はす。而して百分比は兩者の合計につき求められた)。

#### I. 前 後 振

##### (1) 16 分間振動による死亡率

| 振動死<br>g | ♂     |     | ♀     |     | 計     |     |
|----------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|          | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   |
| 10       | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 13       | 0     | 0   | 1     | 20  | 1     | 10  |
| 15       | 4     | 80  | 3     | 60  | 7     | 70  |
| 16       | 4     | 80  | 5     | 100 | 9     | 90  |
| 18       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |

##### (2) 8 分間振動による死亡率

| 振動死<br>g | ♂     |     | ♀     |     | 計     |     |
|----------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|          | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   |
| 10       | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 13       | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 15       | 3(1)  | 80  | 2     | 40  | 6     | 60  |
| 16       | 3     | 60  | 4     | 80  | 7     | 70  |
| 18       | 5     | 100 | 3     | 60  | 8     | 80  |
| 20       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |

## (3) 4分間振動による死亡率

| 振動死<br>g | ♂     |     | ♀     |     | 計     |     |
|----------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|          | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   |
| 13       | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 15       | (1)   | 20  | (4)   | 80  | 5     | 50  |
| 16       | 3     | 60  | 2     | 40  | 5     | 50  |
| 18       | 3     | 60  | 2     | 40  | 5     | 50  |
| 20       | 2     | 40  | 5     | 100 | 7     | 70  |
| 22       | 4     | 80  | 4     | 80  | 8     | 80  |
| 25       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |

## (4) 2分間振動による死亡率

| 振動死<br>g | ♂     |     | ♀     |     | 計     |     |
|----------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|          | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   |
| 13       | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 15       | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 16       | 0     | 0   | 2     | 40  | 2     | 20  |
| 18       | 1     | 20  | 1     | 20  | 2     | 20  |
| 20       | 2     | 40  | 2     | 40  | 4     | 40  |
| 22       | 2     | 40  | 4     | 80  | 6     | 60  |
| 25       | 5     | 100 | 4     | 80  | 9     | 90  |
| 28       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |

## H. 左 右 振

## (1) 16分間振動による死亡率

| 振動死<br>g | ♂     |     | ♀     |     | 計     |     |
|----------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|          | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   |
| 8        | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 10       | 1     | 20  | 0     | 0   | 1     | 10  |
| 13       | 1(1)  | 40  | 0     | 0   | 2     | 20  |
| 15       | 2     | 40  | 4     | 80  | 6     | 60  |
| 16       | 2     | 40  | 3     | 60  | 5     | 50  |
| 18       | 3     | 60  | 4     | 80  | 7     | 70  |
| 20       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |

## (2) 8分間振動による死亡率

| 振動死<br>g | ♂     |     | ♀     |     | 計     |     |
|----------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|          | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   |
| 10       | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 13       | 0     | 0   | (1)   | 20  | 1     | 10  |
| 15       | 1(1)  | 40  | 2     | 40  | 4     | 40  |
| 16       | 1     | 20  | 2     | 40  | 3     | 30  |
| 18       | 2     | 40  | 4     | 80  | 6     | 60  |
| 20       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |

## (3) 4分間振動による死亡率

| 振動死<br>g | ♂     |     | ♀     |     | 計     |     |
|----------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|          | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   |
| 13       | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 15       | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 16       | 1     | 20  | 0     | 0   | 1     | 10  |
| 18       | 1     | 20  | 2     | 40  | 3     | 30  |
| 20       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |

## (4) 2分間振動による死亡率

| 振動死<br>g | ♂     |     | ♀     |     | 計     |     |
|----------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|          | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   |
| 13       | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 15       | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 16       | (1)   | 20  | 0     | 0   | 1     | 10  |
| 18       | 0     | 0   | (1)   | 20  | 1     | 10  |
| 20       | 1     | 20  | 1     | 20  | 2     | 20  |
| 22       | 2     | 40  | 2     | 40  | 4     | 40  |
| 25       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |

## III. 堅 振

## (1) 16分間振動による死亡率

| 振動死<br>g | ♂     |     | ♀     |     | 計     |     |
|----------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|          | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   | 死 亡 數 | %   |
| 8        | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 10       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |
| 13       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |
| 15       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |
| 16       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |
| 18       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |

## (2) 8分間振動による死亡率

| 振動死<br>g | ♂     |     | ♀     |     | 計     |     |
|----------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|          | 死 亡 数 | %   | 死 亡 数 | %   | 死 亡 数 | %   |
| 8        | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 10       | 3     | 60  | 3     | 60  | 6     | 60  |
| 13       | 3(1)  | 80  | 3     | 60  | 7     | 70  |
| 15       | 5     | 100 | 4     | 80  | 9     | 90  |
| 16       | 5     | 100 | 4     | 80  | 9     | 90  |
| 18       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |

## (3) 4分間振動による死亡率

| 振動死<br>g | ♂     |     | ♀     |     | 計     |     |
|----------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|          | 死 亡 数 | %   | 死 亡 数 | %   | 死 亡 数 | %   |
| 8        | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 10       | 1     | 20  | 2     | 40  | 3     | 30  |
| 13       | 3     | 60  | 4     | 80  | 7     | 70  |
| 15       | 4     | 80  | 4     | 80  | 8     | 80  |
| 16       | 4     | 80  | 5     | 100 | 9     | 90  |
| 18       | 5     | 100 | 4(1)  | 100 | 10    | 100 |
| 20       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |

## (4) 2分間振動による死亡率

| 振動死<br>g | ♂     |     | ♀     |     | 計     |     |
|----------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|          | 死 亡 数 | %   | 死 亡 数 | %   | 死 亡 数 | %   |
| 10       | 0     | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   |
| 13       | 1     | 20  | 1     | 20  | 2     | 20  |
| 15       | 2     | 40  | 2     | 40  | 4     | 40  |
| 16       | 2(1)  | 60  | 2     | 40  | 5     | 50  |
| 18       | 4     | 80  | 4     | 80  | 8     | 80  |
| 20       | 5     | 100 | 5     | 100 | 10    | 100 |

これ等の諸表に於て明白であるやうに、振動死の出現は概ね振動中に限られ、振動終了後に死亡するものは極めて少數である。また、振動実験終了後に死亡せるものも、大抵は當日中若くは翌朝に死亡せるものにて、その後死亡するものは僅少である。1箇月間に亘り各生存個體につき観察するに、振動死を免れ得たるものはすべて格別の異状を呈せず、何等後遺症と覺しきものを示さず、生活状態も繁殖状況も他と異りたる所を認め難い。従つて、この実験に關する限り、振動の効果は悉無律に從ふものゝ如く、生死の境は紙一重であつて、運よく振動死を免れたものは、別段目に立つ程の影響を蒙らないかの如くに見受けられる。この理由が唯一回だけの振動であつた爲であるか、それとも客觀的動作症狀のみを捉へて観察してゐるためであるかは明白でない。之に就ては、更に反覆振動実験を試みた上で、十分なる検討を重ねたいと思つてゐる。

## (ii) 振動方式による死亡率の比較

前掲諸表の數字に本づき、前後振、左右振並に堅振等の各種振動方式に於ける振動死の起發状況を比較するに、下表の如くである。

(1) 16分間振動

| 振動方式<br>g | 前　後　振 | 左　右　振       | 堅　　振 |
|-----------|-------|-------------|------|
| 8         | 0(?)  | 0           | 0    |
| 10        | 0     | 1           | 10   |
| 13        | 1     | 2           | 10   |
| 15        | 7     | 21 (35.0 %) | 10   |
| 16        | 9     | 5           | 10   |
| 18        | 10    | 7           | 10   |

(2) 8分間振動

| 振動方式<br>g | 前　後　振 | 左　右　振       | 堅　　振        |
|-----------|-------|-------------|-------------|
| 8         | 0(?)  | 0(?)        | 0           |
| 10        | 0     | 0           | 6           |
| 13        | 0     | 1           | 7           |
| 15        | 6     | 31 (44.2 %) | 9           |
| 16        | 7     | 4           | 24 (34.2 %) |
| 18        | 8     | 3           | 9           |
| 20        | 10    | 6           | 10          |
|           |       | 10          | 10(?)       |

(3) 4分間振動

| 振動方式<br>g | 前　後　振 | 左　右　振       | 堅　　振        |
|-----------|-------|-------------|-------------|
| 8         | 0(?)  | 0(?)        | 0           |
| 10        | 0(?)  | 0(?)        | 3           |
| 13        | 0     | 0           | 7           |
| 15        | 5     | 0           | 8           |
| 16        | 5     | 49 (44.4 %) | 9           |
| 18        | 5     | 1           | 34 (37.7 %) |
| 20        | 7     | 3           | 9           |
| 22        | 8     | 10          | 67 (74.4 %) |
| 25        | 10    | 10(?)       | 10          |
|           |       | 10(?)       | 10(?)       |

## (4) 2分間振動

| 振動方式<br>g | 前後振 | 左右振         | 堅振     |
|-----------|-----|-------------|--------|
| 13        | 0   | 0           | 2      |
| 15        | 0   | 0           | 4      |
| 16        | 2   | 1           | 5      |
| 18        | 2   | 1           | 8      |
| 20        | 4   | 28 (35.0 %) | 10     |
| 22        | 6   | 4           | 10     |
| 25        | 9   | 10          | 10 (?) |
| 28        | 10  | 10 (?)      | 10 (?) |

表中(?)のものは、實驗數値を缺くのであるが、前後の關係より振動死皆無若くは全部死亡を推定し得られるものであつて、比較の必要上、便宜代入したのである。

これ等の諸表を通覽するに、振動の影響の最も大なのは堅振であつて、前後振が之に次ぎ、左右振はさまで著しくはない。振動死の起發率を比較するに、堅振は大約 75 %、前後振は大約 45 %、左右振は大約 35 %であつて、大體に於て、夫々の影響の程度を推知することが出来る。即ち、堅振の禍害は他の振動方式の約 2 倍に達し、頗る注目に値するものがある。堅振は白マウスにとつては極めて不自然なる姿勢であつて、頭部並に頸部の機械的振動が激しく、ために主として脳振盪様の症狀を招致し易いからではなからうかと察せられる。

尤も、上記の振動方式による差異が、人間の場合にも其儘當嵌まるかは疑はしい。人間は特殊の體制を有して居り、姿勢並に動作の習性を異にしてゐるから、振動に本づく加速度作用にも相當の相違が豫想せられる。人間の問題に關しては別箇の實驗系列に委ねるとして、以上の結果から、一般に、生體にとつて特に脳振盪症狀が極めて危険であり、これが防止對策として、頭部並に頸部の機械的振動を輕減することが何よりも肝要であることだけは、十分に示唆し得られると信ずるのである。

## (iii) 性別による振動死の比較

次に、前掲の資料から、振動死の起發状況を白マウスの雌雄別につき比較するに、下表の通りである。

## (1) 前後振

| 性別<br>振動時間 | ♂   |    |          | ♀   |    |          |
|------------|-----|----|----------|-----|----|----------|
|            | 死亡数 | 計  | %        | 死亡数 | 計  | %        |
| 16分        | 13  |    |          | 14  |    |          |
| 8          | 17  |    |          | 14  |    |          |
| 4          | 18  | 63 | (48.4 %) | 22  | 63 | (48.4 %) |
| 2          | 15  |    |          | 13  |    |          |

## (2) 左 右 振

| 性別   | ♂    |       |   | ♀ |       |   |   |
|------|------|-------|---|---|-------|---|---|
|      | 振動時間 | 死 亡 數 | 計 | % | 死 亡 數 | 計 | % |
| 16 分 | 15   |       |   |   | 16    |   |   |
| 8    | 10   |       |   |   | 14    |   |   |
| 4    | 7    |       |   |   | 7     |   |   |
| 2    | 9    |       |   |   | 9     |   |   |

## (3) 堅 振

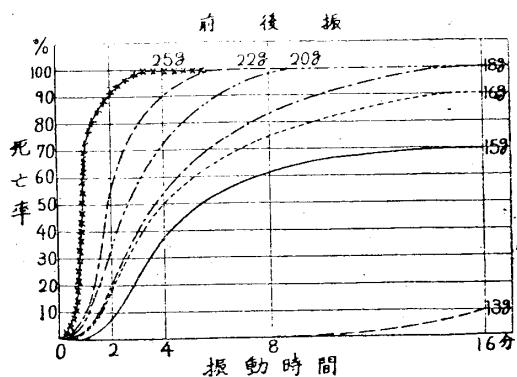
| 性別   | ♂    |       |   | ♀ |       |   |   |
|------|------|-------|---|---|-------|---|---|
|      | 振動時間 | 死 亡 數 | 計 | % | 死 亡 數 | 計 | % |
| 16 分 | 25   |       |   |   | 25    |   |   |
| 8    | 22   |       |   |   | 19    |   |   |
| 4    | 22   |       |   |   | 25    |   |   |
| 2    | 15   |       |   |   | 14    |   |   |

これ等の諸表より推論すれば、振動に對する耐性には雌雄の間に何等の區別もなく、加速度の禍害は平等に兩性を見舞ふものらしく、雌雄の孰れかの耐性を重視することは許されない。尤も、これは極度の振動が與へられた爲であるかも知れないのであるが、前驅兆候の出現状況に於ても、格別性的差異は認められないであるから、輕度の振動の場合にも略同様の事實が存するのではないかと察せられる。但し、妊娠その他の生理的變調の際に於て、如何なる關係を示すかは、我々の實驗研究では明白ではない。

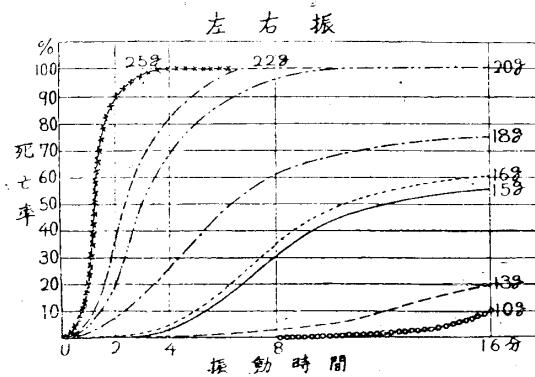
## (iv) 振動死の時間的條件

以上の諸表を大觀するに、振動死の起發状況は、振動方式の如何を問はず、振動時間並に振動加速度の増加につれて、漸次增加の傾向を示し、これ等の變化關係には一定の法則的規定があるらしく見受けられる。

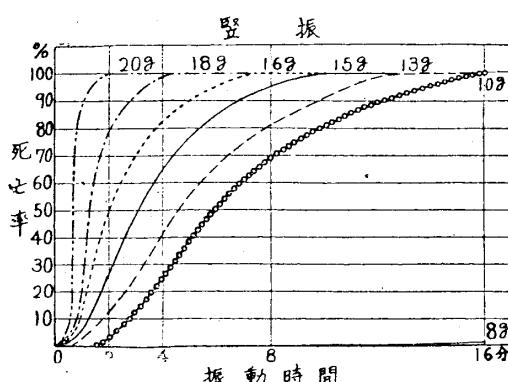
今、この關係を明白ならしめるために、上の諸表の數字を均滑化して、曲線圖にて表示すれば、下圖の如くである。



第 4 圖



第 5 圖



第6圖

これ等の曲線圖を觀察するに、前後振、左右振又は堅振の孰れを問はず、振動時間の増加に應じて、振動死の起發率は對數的に増加して、概して規則正しい對數曲線を描いて變化することが明白である。また、振動加速度の増加につれて、死亡率が増加し、對數曲線は漸次左上方に移行する事實が歴然である。しかも、これ等の變化關係には一定の法則性があつて、特に振動時間と振動死の出現との間には、ある種の函數的關係の存在するらしいことが窺はれるのである。

今、この關係を明瞭ならしめるために、各種の振動方式に於ける 50 % 死亡點、75 % 死亡點並に 25 % 死亡點を確定し、夫々の場合の恰當振動時間を算定して見ると、大體、下表の如くである。

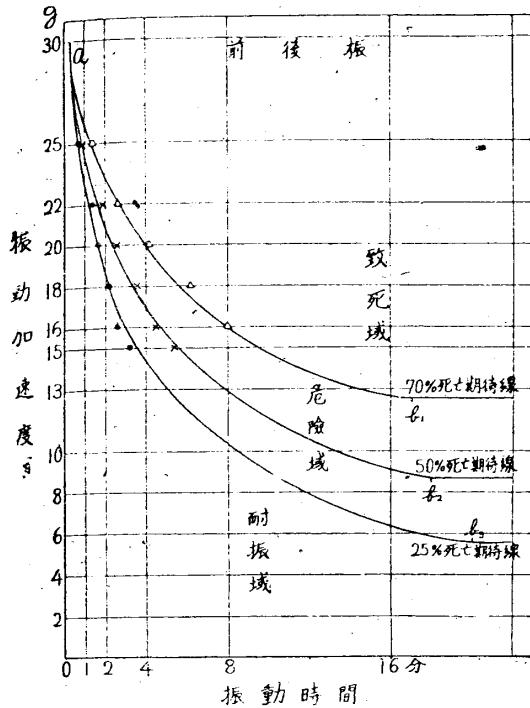
振動死の時間的條件

| 振動方式 | 前後振  |      |      | 左右振  |      |      | 堅振   |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|      | 25 % | 50 % | 75 % | 25 % | 50 % | 75 % | 25 % | 50 % | 75 % |
| 10 g | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 4.0  | 6.0  | 9.0  |
| 13   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 2.9  | 4.6  | 7.0  |
| 15   | 3.2  | 5.4  | —    | 7.4  | 12.3 | —    | 1.9  | 3.0  | 4.8  |
| 16   | 2.6  | 4.5  | 8.0  | 6.7  | 10.5 | —    | 1.3  | 2.0  | 3.3  |
| 18   | 2.2  | 3.6  | 6.4  | 3.8  | 6.3  | 16.0 | 0.9  | 1.3  | 1.8  |
| 20   | 1.7  | 2.6  | 4.2  | 2.2  | 3.0  | 4.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  |
| 22   | 1.4  | 1.9  | 2.7  | 1.8  | 2.3  | 3.5  | —    | —    | —    |
| 25   | 0.7  | 0.9  | 1.4  | 1.1  | 1.3  | 1.5  | —    | —    | —    |

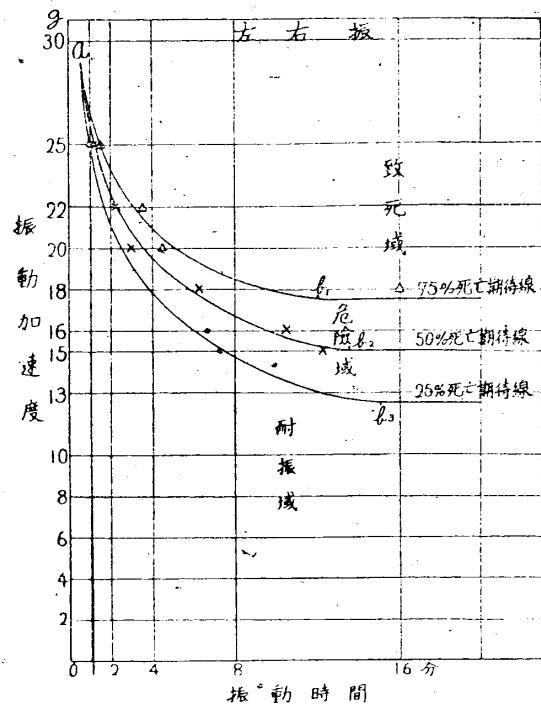
この表の數字に本づき、振動死の時間的條件を、概略、曲線圖にて示せば、次頁の3圖の如くである。これ等の曲線圖に於て、横軸には振動時間、縦軸は振動加速度の座標をとり、25 %、50 %並に75 %の死亡點を夫々圖中に挿置し、これ等を連接して、便宜、3種の死亡期待線を劃したのである。

これ等の3圖を概観するに、孰れの振動方式に於ても、各種の振動死期待線は、高低の別こそあれ、極めて整然たる對數曲線を描き、振動加速度並に振動時間の兩要因の増減に即して、頗る規則正しい推移を示してゐる。殊に、曲線の傾向に鑑みれば、振動死の發現は振動時間よりも、寧ろ振動加速度によつて一層著しく規定せられるものであるらしい。

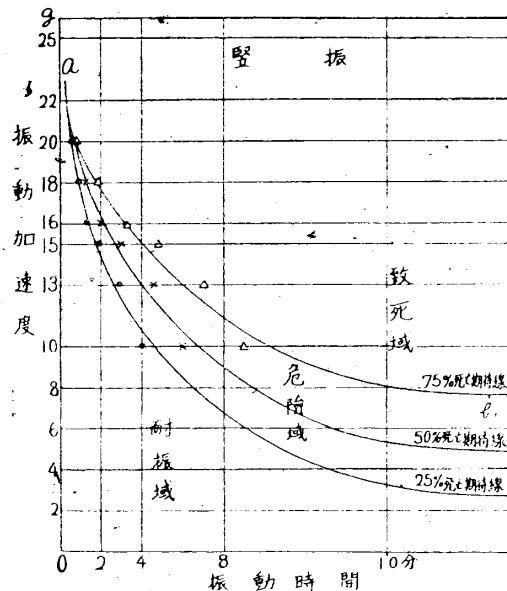
また、振動死0 %及び振動死100 %の兩極は、時と場合によつて甚だしく移動し、偶然の事情に支配せられる所が大であるが、25 %、50 %並に75 %の諸點は略々期待線の附近に點在し、一定の規則性を保持して居り、甚だしく變動するが如きことは無い。従つて、振動死發現の分布狀態に徴し、50 %死亡期待線を中心に上下夫々25 %宛の分布領域即ち25 %死亡期待線より75 %死亡期待線に到る中央兩四分段 Quartiles の範圍を以て、危險域と定め、



第 7 圖



第 8 圖



第 9 圖

それ以上の範囲を致死域、それ以下の範囲を耐振域と稱することは満更ら不合理とも思へないのである。即ち、耐振域に於ては、比較的に少數の特異性のもののみが犠牲となるが、大半は安全で生命に危険がないばかりか、特に目立つ程の後遺症状すらも残さない。<sup>(1)</sup>之に反して、致死域では、死亡は絶対であつて、大半が振動死を免れず、生存を期待することが寧ろ不可能と考へられる。而して、それ等の中間の危険域では、生死の岐路をなすものゝ如く、之に踏入れることは頗る警戒を要することが明白である。尤も、この危険域の幅は、振動加速度の小なる間は、相當に廣いけれども、振動加速度が増すに従ひ、漸次狭まり來り、20 g 以上の場合には極めて狭隘であつて、一旦危険域に入れば、直ちに致死域に移行する惧れがあり、この程度以上

の加速度は、白マウスに関する限り、絶対に禁物であることが断定し得られるのである。

(1) 兹に耐振域と云ふのは、必ずしも絶対に安全といふ意味ではない。單に 25 %以上の振動死を生じないといふだけである。絶対安全域は、恐らくは、もつと低いものであらうと思はれる。

また、これ等の死亡期待線を上下に延長すれば、實驗未了の振動條件に對しても、夫々耐振域、危險域及び致死域の區劃をなすことが不可能でもない。我々はかくすることによつてもつと短い振動時間やもつと長い振動時間、或はもつと輕微な振動加速度やもつと苛烈な振動加速度に關しても、大體、振動死の起發狀況を推察することを得、之に本いて必要なる防護對策を講ずることも出來る筈である。

尙ほ、前掲の3圖に於て注意すべきことは、特に25%振動死期待線の兩端が縦軸並に横軸の0座標線に密接せず、双方とも多少の餘裕を存するらしい事實である。尤も、その餘裕の程度が實際上どれ位であるかは、今後の實驗的確定に俟たねばならないのであるが、曲線の推移から察して、ある度の餘裕の存するらしいことは否み難い。從つて、振動加速度に就て云へば、前後振では28~29g以上、左右振では29~30g以上、また堅振では22~23g以上の強大なる振動を加へても、<sup>(1)</sup>一定時間以下の振動時間では大した危険はなく、少くとも25%以上の死亡率を見る事はない時間的限界があるらしく、之を曲線の推移より察すれば、前後振では多分0.4分(25秒)以下、左右振では恐らく0.5分(30秒)以下、而して堅振では概ね0.35分(20秒)以下の時間では、十分の振動效果を發揮するまでには到らないのではないかと思はれる。茲に、振動作用に關する時間餘裕Zeitreserveの問題があるやうである。また、振動時間に就て云へば、一定加速度以下の振動では、16分間以上相當長時間に亘つて振動を與へても、25%以上の振動死を生ぜず、大體に於て白マウスの耐へ得られる加速度に限界があるらしく、之を曲線の傾向より觀れば、前後振では5~6g以下、左右振では12~13g以下、また堅振では2.5~3g以下の振動加速度では、振動時間の長短を論ぜず、振動死の危険はさまで大なるやうにも思はれない。<sup>(2)</sup>此點に關しても、一種の強度餘裕Intensitätsreserveの存在が豫想せられるのである。

#### (v) 振動死の加速度的條件

振動死の加速度的條件に就ては、前節に於ても多少言及する所があつたが、茲では前掲の實驗結果資料に本づき、特に加速度的條件の規定に關して、尙ほ若干の補足をして置きたい。

先づ、前後振、左右振並に堅振の各種振動方式に就き、種々の振動時間に於ける25%, 50%及び75%振動死發現に要する振動加速度の強度を算定するに、概ね次表の如くである。

振動死の加速度的條件

| 振動方式   | 前　　後　　振 |       |      | 左　　右　　振 |      |      | 堅　　振  |       |      |
|--------|---------|-------|------|---------|------|------|-------|-------|------|
|        | 25%     | 50%   | 75%  | 25%     | 50%  | 75%  | 25%   | 50%   | 75%  |
| 振動時間 分 | g       | g     | g    | g       | g    | g    | g     | g     | g    |
| 1      | 23.5    | 24.5  | 26.0 | 25.0    | 26.0 | 26.8 | 17.5  | 18.8  | 19.5 |
| 2      | 18.6    | 20.9  | 23.4 | 20.9    | 22.5 | 23.7 | 14.2  | 16.3  | 17.6 |
| 4      | 14.4    | 17.0  | 19.9 | 17.8    | 19.5 | 20.9 | 10.7  | 13.0  | 15.0 |
| 8      | (10.4)  | 12.9  | 16.0 | 14.7    | 16.7 | 18.6 | 6.7   | 9.0   | 11.3 |
| 16     | (6.3)   | (9.1) | 12.6 | 12.5    | 15.0 | 17.5 | (3.2) | (5.3) | 8.0  |

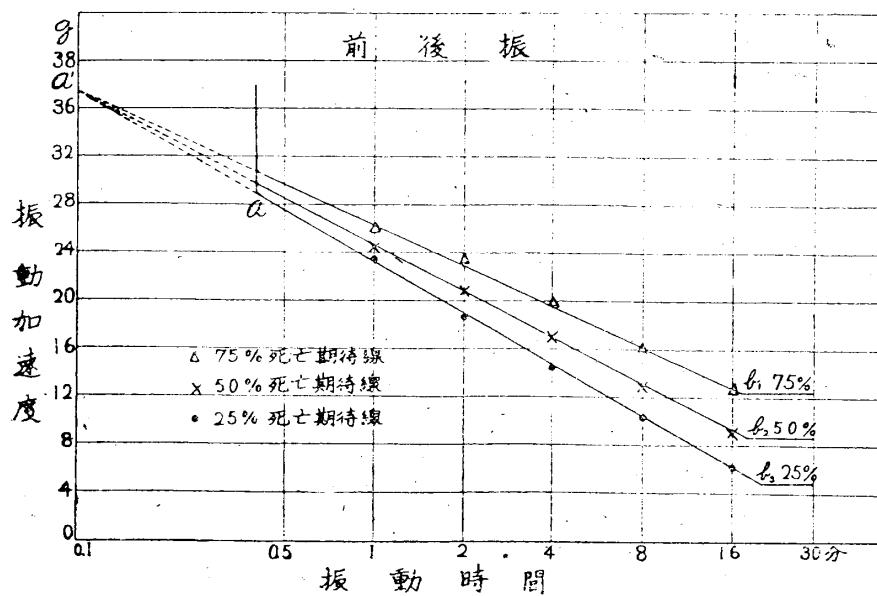
括弧内の數字は次圖の曲線傾向より推定したる値を示す。

(1) 少くとも25~30gの範圍に就てはこの斷定が出来る。但し、それ以上の振動加速度に關しては、この研究結果から推論することは差控へて置く。

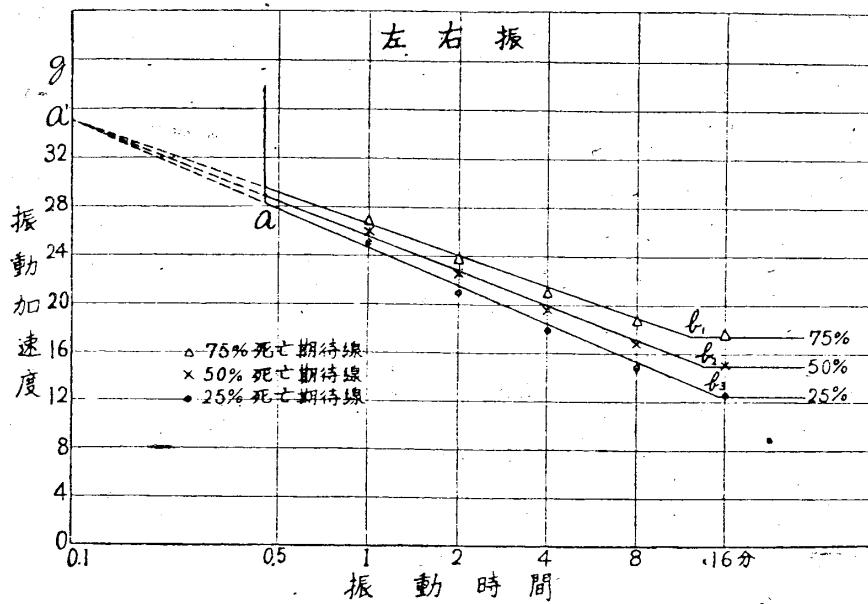
(2) 茲では振動死のみに就て云つてゐるのであつて、各種の前驅兆候や輕微なる影響の問題には觸れてゐない。

この表の數字によれば、25%，50%若くは75%振動死の發現に要する加速度の大きさは、振動時間の幾何級數的增加につれて、概ね算術級數的に減少し行くものゝ如く、逆に、加速度が等差的に増せば、死亡に到る迄の振動時間は等比的に減するものと察せられる。従つて、この種の振動に於ては、振動時間の長短よりは、振動加速度の大小の方が一層重大問題であるらしく、生體の保安對策としては、特に振動加速度の抑制に注意すべきものなることが知られるのである。

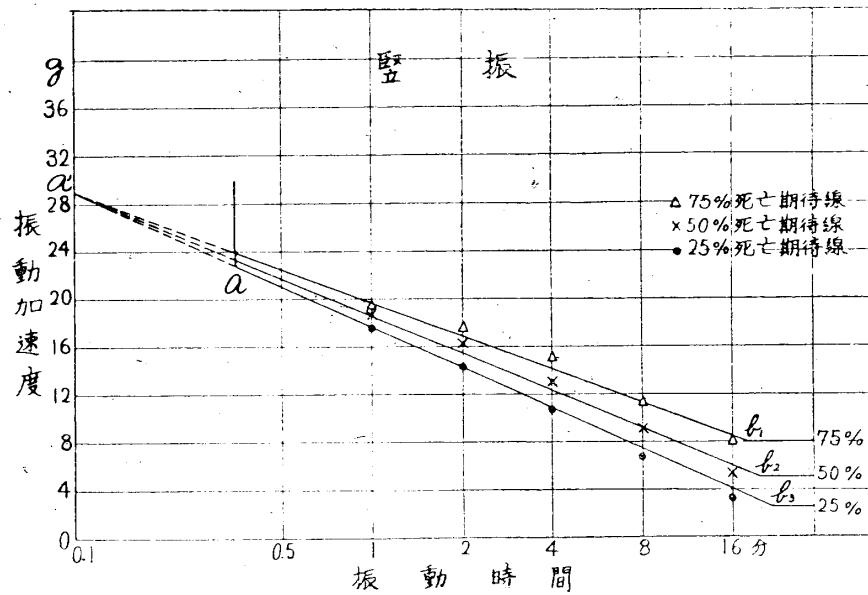
今、これ等の關係を明示するために、上表の數字を資料とし、前後振、左右振並に堅振の夫々に就き、振動時間の對數を横軸に、また振動加速度の絶對値を縦軸にとり、25%，50%及び75%の死亡期待線を片對數線圖に作圖するに、孰れの場合に在ても、各死亡期待線は略一直線を成して推移し、極めて規則正しい關係を呈示する。しかも、各種振動方式の孰れに於ても、3種の死亡期待線は左方に高く右方に低く、また左方に集中し右方に散開し、推移は頗る整然である。且つ、この直線的推移には上下に一定の限界があり、振動強度に就て云へば、前後振では凡そ5~30g、左右振では凡そ13~23g、堅振では凡そ3~23gの範圍内に於て妥當し、また之を時間的條件に就て觀れば、前後振では大約0.4(25秒)~20分、左右振では大約0.5(30秒)~15分、堅振では大約0.35(20秒)~22分の範圍内に於て當嵌まるものゝ如く、それ以上若くはそれ以下の振動強度或は振動時間の場合には通用し難いことが歴然である。即ち、これ等の死亡期待線の兩端は横座標線若くは縦座標線に接觸せず、夫々一定の時間餘裕或は強度餘裕を存して、兩端は縱横の座標線に對し突如平行となるのである。假に、これ等の兩端をa並にbの符號を以て表示すれば、各死亡期待線はa以下の振動時間では、如何程振動加速度を增强しても、25%以上の振動死を生ずることは無く、またb以下の振動加速度では、如何程振動時間を延長しても、25%以上の振動死を來たさないのであつて、この部分も亦た一種の耐振域たることが推察せられるのである。



第 10 圖



第 11 圖



第 12 圖

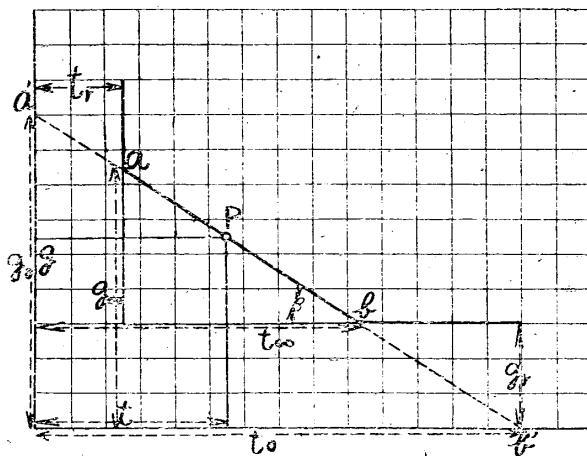
かかる時間餘裕若くは強度餘裕なるものが何故に存在するかに就ては、まだ十分に明白ではないけれども、恐らくは、生體は厳密なる意味に於て固體ではなく、體内に固有振動を異にする臓器や血液などを有する複合體である關係上、體軀の振動と體内の振動との間に時間的並に強度的にズレがあり、時間並に強度が一定限界以上に達しない間は、一定の規則的結果を生じ難い事情に本づくものではなからうかと想像せられる。

尙ほ、この  $a$  及び  $b$  點の所在が、果してこの圖表の如くであるか否かに關しては、別に實驗的研究を必要とするが、この種の時間餘裕及び強度餘裕の存在は、日常の振動經驗に徴

しても、大體認容し得られる所である。

### (vi) 期待線の數學的處理<sup>(1)</sup>

前掲死亡期待線の規則性に準據し、我々は之を一種の計算圖表として、所與の振動條件から振動死の起發率を豫測し、或は振動死の防止に必要なる振動許容限界の要件を概算することが出来る。これが爲には、先づ各種振動方式に於ける夫々の死亡期待線に對し、一應、數學的處理を試みる必要がある。



第 13 圖

### (1) 假想延長 $a' b'$ を利用する方法

直線  $a b$  を一定率の死亡期待線となし、これを延長して縦及び横座標軸と交叉する點を夫々  $a'$  及び  $b'$  とすれば、この期待線の推移は  $k = \tan \beta = \frac{1}{k'}$  にて示される。而して、 $a'$  及び  $b'$  に應する振動加速度及び振動時間を夫々  $g_0$  及び  $t_0$  にて表はす。

(イ) 振動時間  $t$  が與へられて、一定率の振動死を惹起し得べき振動加速度  $g$  を求め  
る場合

(ロ) 振動加速度  $g$  が與へられて、一定率の振動死を惹起し得べき振動時間  $t$  を求め  
る場合

$$\log t = \log t_o - k' g$$

$$e^{0.434 \ln t} = e^{0.434 \ln t_0 - k' g}$$

$$(e^{\ln t})^{0.434} = (e^{\ln t_0})^{0.434} \times e^{-ktg}$$

これ等の算式に當嵌むべき諸元の値を、前掲第 10~12 圖の各期待線につき實測すれば、下表の如くである。

(1) 本實驗の數學的處理に關しては、機體第一部小川所員の厚意ある協力を仰ぐ所多大である。誌して以て謝意を表する。

| 振動方式 |       | 前後振    | 左右振    | 豎振     |
|------|-------|--------|--------|--------|
| 振動死  |       |        |        |        |
| 25 % | $g_0$ | 37.5 g | 37.5 g | 37.5 g |
|      | $t_0$ | 45 分   | 260 分  | 37 分   |
|      | $k$   | 0.583  | 0.417  | 0.452  |
| 50 % | $g_0$ | 35 g   | 35 g   | 35 g   |
|      | $t_0$ | 88 分   | 480 分  | 60 分   |
|      | $k$   | 0.507  | 0.378  | 0.419  |
| 75 % | $g_0$ | 29 g   | 29 g   | 29 g   |
|      | $t_0$ | 230 分  | 1550 分 | 135 分  |
|      | $k$   | 0.448  | 0.338  | 0.373  |

但し、この算定法では、假想點  $a'$  及び  $b'$  の位置が聊か明確でなく、 $g_0$  殊に  $t_0$  の値が幾分曖昧であるから、確實性を十分に期し難い。

## (2) 期待線 $a$ $b$ を利用する方法

(イ)  $t$  が與へられて  $g$  を求める場合

(口)  $g$  が與へられて  $t$  を求める場合

$$\log t = \log t_\infty - k'(q - q_r)$$

$$0.434 \ l_n t = 0.434 \ l_n t_\infty - k'(g - g_r)$$

$$e^{0.434 \ln t} = t_{\infty}^{0.434} e^{-k' (g - gr)}$$

$$\therefore t^{0.434} = \frac{t_{\infty}^{0.434}}{e^{k'(g - gr)}}$$

(3) 及び (4) の算式に當嵌むべき諸元の數値を先と同様にして求めれば、次表の通りである。但し、 $t_{\infty}$ 並に  $g_{\infty}$  は  $a$  若くは  $b$  に達する迄の振動時間並に振動加速度、 $t_r$  並に  $g_r$  はその振動方式に於ける一定死亡率の時間餘裕並に強度餘裕、また  $k' = \frac{1}{k}$  にて  $\cot \beta$  を示す。

| 振動死  |            | 振動方式   | 前後振    | 左右振    | 豎振 |
|------|------------|--------|--------|--------|----|
| 25 % | $t_\infty$ | 20.0 分 | 15.0 分 | 22.0 分 |    |
|      | $t_r$      | 0.4 分  | 0.45 分 | 0.35 分 |    |
|      | $g_\infty$ | 29.0 g | 28.2 g | 23.0 g |    |
|      | $g_r$      | 5.0 g  | 12.5 g | 2.5 g  |    |
|      | $k'$       | 1.71   | 2.39   | 2.21   |    |
| 50 % | $t_\infty$ | 18.0 分 | 13.5 分 | 20.0 分 |    |
|      | $t_r$      | 0.4 分  | 0.45 分 | 0.35 分 |    |
|      | $g_\infty$ | 29.8 g | 28.9 g | 23.5 g |    |
|      | $g_r$      | 8.75 g | 15.0 g | 5.0 g  |    |
|      | $k'$       | 1.97   | 2.64   | 2.38   |    |
| 75 % | $t_\infty$ | 17.0 分 | 12.0 分 | 18.0 分 |    |
|      | $t_r$      | 0.4 分  | 0.45 分 | 0.35 分 |    |
|      | $g_\infty$ | 30.7 g | 29.5 g | 23.9 g |    |
|      | $g_r$      | 12.5 g | 17.5 g | 8.0 g  |    |
|      | $k'$       | 2.23   | 2.95   | 2.67   |    |

これ等の算式が果して妥當なりや否や、また  $a$  及び  $b$  の位置並に傾斜、従つてまた  $t_r$  及び  $g_r$  の數値が適當なりや否やに關しては、更に短時間或は小強度の振動實驗に徵して再吟味をなす必要がある。我々は現にこの種の検討を仔細に實施しつゝあるから、次報に於て改めて論考するまで、單に暫定案として提供するのみに止めて置く。

尙ほ、これと同様の手法によつて、各種前驅兆候の出現状態を豫知し得るならば、振動に對する保安對策上、頻る有益と信ぜられるのである。

#### (b) 振動死の所見

振動死の原因並に機轉に關しては、振動死の起發過程を振動中に觀測することが實驗の性質上困難である關係から、正確なることは解らない。我々はたゞ死體の状況や若干事例の剖見によつて、これを推定するのみである。

振動死の原因として豫想せられるものに、次の2種がある。

- (1) 機械的震盪に本づく脳、内臓その他の諸器官の擦傷若くは破傷
- (2) 血液の流體力學的衝擊による血行障礙若くは血管破裂

これ等は、一般に、加速度の實驗に於ても認められる所のものであるが、たゞ振動の場合には、方向の正反對な加速度が極めて頻繁に交替するために力の相殺が行はれ、同じ效果を生ずるには、一方向的に持續される場合に較べて、一層大なる振動加速度と振動時間とを必要とする。また、一般的加速度に於て見られるやうな風壓に本づく窒息死は、振動の場合に

は概して豫想し難いのである。

而して、機械的震盪と血流衝撃の兩作用のうち、前者は特に左右振並に堅振の場合に著しく、後者は比較的に前後振の場合に甚だしい模様であり、また左右振にては、孰れかと云へば、胸腔及び腹腔内の諸臓器の震盪が激しく、堅振に於ては寧ろ頭部從つてまた脳の震盪が大なるやうに見受けられるのであつて、兩作用の關係は生體の姿勢と加へられる力の方向とによつて、必ずしも一様ではない。

今、前後振、左右振及び堅振の各種振動方式につき、振動死の事例を夫々數十個宛採り、顯著なる徵候を剖見して、之を正常體と比較するに、大體、下表の如くである。

右表の觀察結果に従へば、前後振では、脳上表の損傷と胸部諸器官の壓迫が甚だしく、鼻部及び尾部の變調も顯著であり、孰れかと云へば、血液の流體力學的作用が大なる影響を及ぼしてゐるやうであるが、左右振では、専ら腹腔内の諸臓器の損傷が著明であつて、概して腹部の機械的震盪が死亡の主因を成せるものゝ如く、また堅振に於ては、脳下部特に上頸部に於ける損傷が著大であり、下腹部臓器の震盪も多少認められるが、寧ろ頸部の機械的振動が死因の最たるものと認められ、それだけに致命的なることが察せられるのである。

従つて、防護対策としては、前後振では、脳髄に對する加速度作用を輕減し、かねて内臓諸器官の胸部壓迫を減殺する如き方策が肝要であり、左右振では、腹部の保護に重點を置き、内臓の移動を少なからしめることに力むべく、また堅振では、専ら頸部の動搖を防ぎ、脳の機械的震盪を減少せしめることに意を用ふべきであつて、夫々への対策は決して一様ではないのである。試みに、若干の白マウスに就き、前後振の場合に、僅か乍ら頭部を持ち上げしめ、また肋骨下端部にゴム紐を締めてその耐振性を検するに、無防備の場合に比して、2~3 g ほど致死限度を高めることが出來た。更に、左右振の場合に、幅廣のゴム管を下腹部に卷いて内臓を保護し、また堅振の場合に、セルロイド管を頸部に嵌めて、頭部の振動を輕減したる所、これまた 2~3 g づゝ耐振性を高め得たのであつて、上述の対策が必ずしも妥當を缺くものに非ざることを立證し得たのである。

尙ほ、振動死の剖見に關聯して、實驗動物の脳、胸腔、背部並に腹腔の寫生圖を、各種振

振動死の主要徵候

| 主要徵候       | 振動方式  | 前後振 | 左右振 | 堅 振 |
|------------|-------|-----|-----|-----|
|            |       | +   | +   | -   |
| 外 部<br>徵 候 | 鼻翼充血  | ++  |     | -   |
|            | 鼻出血   | +   |     | -   |
|            | 耳殻充血  |     | +   | -   |
|            | 耳出血   |     | ++  | -   |
|            | 眼球充血  | +   |     | -   |
|            | 肛門出血  | +   |     | -   |
|            | 尾充血   | +   |     | -   |
| 内 部<br>徵 候 | 脳膜出血  | +++ | +   | ++  |
|            | 大脳出血  | ++  |     | ++  |
|            | 小脳出血  | +   |     | ++  |
|            | 延髓出血  |     |     | ++  |
|            | 頸動脈切斷 |     |     | ++  |
|            | 脊椎出血  | +   | ++  | +   |
|            | 肺葉出血  | +   | ++  | +   |
|            | 心臓壓縮  | +   | +   | +   |
|            | 肝脾轉位  | +   | +   | +   |
|            | 肝臓出血  |     | +   | +   |
|            | 横隔膜上臍 | ++  |     | +   |
|            | 腹膜出血  |     | ++  | +   |
|            | 腸充血   |     | ++  | +   |
|            | 腸間膜出血 |     | ++  | +   |
|            | 腸繩轉   |     | ++  | +   |
|            | 睪丸吊臍  | +   |     | -   |

動方式につき作成し、これを常態に於けるものと對照して、本報告の末尾に掲げて参考に供する豫定であつたが、時局柄、印刷困難のために已むを得ず割愛した。

更に、この種の問題に就ては、身體各部の器質的變化をもつと詳細に検鏡し、解剖學的並に組織學的に調査すべきであるが、實驗動物が小さいために困難が多く、遂に専門家を煩はすまでに到らなかつたのは聊か遺憾とする所である。

### (c) 實驗後の死亡

振動死の起發状況は悉無律に従ふものゝ如く、幸に振動死を免れ得たるものは概ね格別の惡影響も残さず、間もなく正常狀態に復歸する旨を論定したが、之には若干の除外例がある。即ち、實驗動物數 2,000 匹中、約 2% は振動終了直後、他に明白なる原因もないのに、突如死亡し、恐らくは遂に振動の禍害を逃れ得なかつたものと斷定せられたのである。

尤も、振動の經驗後、相當の日子を経て死亡した事例も少くはなかつたが、その多くは榮養障礙、皮膚病等に因るもので、しかもその死亡率は約 5% であつて、即ち一般の振動未經驗動物の場合と大差がなかつたのであるから、之を振動の影響と解することは妥當でない。

然るに、實驗後、數時間乃至數日にして死亡するものは、他に原因が豫想せられないのであるから、之を一種の振動死と判定するより仕方がない。しかも、大半はその日のうちか、遅くも翌朝までには死亡して、1 週間以上も生存したものでは何等異狀を呈しないので、愈々以て振動死と斷定せざるを得ないのである。

試みに、實驗後死亡せる事例 41 個につき、死亡の日時を調査すれば、次表の如くであつて、多くが 1 日以内に死亡せることが明白である。

實驗後死亡日時

| 振動方式<br>死亡日時 | 前後振  | 左右振  | 堅振   |
|--------------|------|------|------|
| 15 分         |      |      | 1    |
| 20 分         |      |      | 3    |
| 30 分         |      |      | 2    |
| 40 分         |      |      | 2    |
| 1 時          |      |      | 4    |
| 2 時          | 1    |      | 1    |
| 3 時          | 1    | 1    |      |
| 12 時         | 1    |      | 2    |
| 1 日          | 3    | 4    | 12   |
| 3 日          | 2    |      |      |
| 7 日          |      | 1    |      |
| 中 数          | 20 時 | 24 時 | 12 時 |

實驗後の死亡状況を振動方式別に比較して見ると、左右振では約 1 曜夜、前後振では約 20 時間で死亡してゐるので、堅振だけは僅かに 12 時間位で死亡してゐることとなつて居り、堅振の害悪に甚だしきものがあることが瞭然である。

また、死亡件數も堅振が斷然多く、27 匹に達してゐるのに對して、前後振は 8 匹、左右

振は6匹で、格段の懸隔がある。

更に、死亡件数を振動時間の長さに就て整理すれば、下表の通りであつて、振動時間の増大につれて、実験後の死亡件数も亦た増加してゐる事實は見逃せない。

実験後死亡件数

| 振動時間<br>振動方式 | 2 | 4  | 8  | 16分 | 計  |
|--------------|---|----|----|-----|----|
| 前後振          | 1 | 3  | 2  | 2   | 8  |
| 左右振          | 1 | 2  | 1  | 2   | 6  |
| 豎振           | 3 | 5  | 8  | 11  | 27 |
| 計            | 5 | 10 | 11 | 15  | 41 |

#### (d) 振動死の前駆兆候

##### (i) 各種兆候の出現状況

振動實驗に於て生體を死に到らしめる場合、常に一群の前駆兆候があつて、略々一定の順序を以て出現し來ることが觀取せられる。これ等の前駆兆候には、振動死への必然的階梯たるものと單なる隨伴現象たるに過ぎないものとがあるらしいのであるが、孰れも起發條件並に存續時間に關して、相當に規則性を有することが認められる。

尤も、これ等の兆候群をその出現と經過に從つて連續的に觀測して行くことは、實驗の性質上甚だ困難であるから、我々は便宜生存動物につき、振動終了直後の狀態を觀察し、これを振動條件に照して解釋し、比較的輕微なる振動條件下に於て現はれる現象は、比較的に過重なる條件下に於て現はれるものに比して、一層前階的であるとの假定の下に批判を加へ、更に出現状況の規則性と現象の本質に鑑みて、必然的兆候と偶發的なるものとを區別することとしたのである。

但し、これ等の前駆兆候は振動死の現象ほど明確には現はれない。その多くは局所的障礙に本づく關係上、姿勢の些少の變化從つてまた加速度方向の僅少の移動によつて、振動效果に大差があり、同様の振動條件に於て、ある場合には現はれ、ある場合には認められないものもあつて、孰れの個體に於ても趣を等しくするわけではないやうである。その中、比較的に規則的に出現するものは、呼吸深化、顫慄、動作停止、運動不能並に局所的充血及び出血の諸兆候であるが、これ等とても、出現條件の範圍は相當に廣く、體質或は耐振性などの個體差の外に、偶然の事情に左右される所が大なることが察せられるのである。

以下、これ等の前駆兆候の主要なるものにつき、概略の記述をして置くことにする。

##### (イ) 呼吸深化

振動實驗に於て、比較的輕微なる條件下に、可成り顯著に認められる後遺現象は、呼吸の變化特に呼吸の深化である。振動終了後、容器中より臺上に取出された動物は、數分間、相當激しい不規則なる深呼吸を繰返へし、文字通りに氣息奄々たるものがある。この現象が必ずしも窒息に基づくものでないことは、振動時間が相當に長いことや呼吸の状況からも容易に判斷出来るのであつて、全く臟器の震盪に由るものらしいことが明白である。

而して、この呼吸深化は一過性であつて、數分間の後には消散し、正常の呼吸に還元し

て、格別目立つた影響は残存しないやうに見受けられる。

今、呼吸深化の出現状況を、各種振動方式につき一覧すれば、下表の如くである。表中の數字は現象呈示の個體數を示してゐるが、表下部の空欄は他の一層不良なる兆候を示すか、振動死に陥るかの事例に該當し、振動中に於て既に呼吸變化を経過し終つたものと推定せられるのであるけれども、一應、空白のまゝに示して置く。

(a) 呼吸深化を生ずる振動強度

(1) 前後振

| 振動時間<br>g | 2      | 4      | 8      | 16分    |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 8         |        |        |        | 1      |
| 10        |        | 1      | 3      | 2      |
| 13        |        | 3      | 3      | 3      |
| 15        | 3      |        | 3      | 3      |
| 16        | 5      | 3      | 1      | 1      |
| 18        | 9      | 5      | 1      |        |
| 20        | 4      |        |        |        |
| 22        | 1      | 2      |        |        |
| 25        |        |        |        |        |
| 振動加速度(中數) | 18.1 g | 16.5 g | 14.0 g | 13.0 g |

(2) 左右振

| 振動時間<br>g | 2      | 4      | 8      | 16分    |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 8         |        |        |        |        |
| 10        |        |        | 1      | 1      |
| 13        | 1      | 1      | 3      | 6      |
| 15        |        | 2      | 2      | 1      |
| 16        | 2      | 2      | 2      | 4      |
| 18        | 3      | 6      | 1      | 3      |
| 20        | 7      | 4      | 2      |        |
| 22        | 4      |        |        |        |
| 25        | 2      |        |        |        |
| 振動加速度(中數) | 20.1 g | 17.7 g | 15.3 g | 15.0 g |

## (3) 堅 振

| 振動時間<br>g | 2      | 4      | 8       | 16分     |
|-----------|--------|--------|---------|---------|
| 4         |        |        |         | ?       |
| 6         |        |        | ?       | ?       |
| 8         |        |        | 7       | 9       |
| 10        |        |        | 2       | 1       |
| 13        |        | 1      | 1       | 1       |
| 15        | 1      | 2      | 1       |         |
| 16        | 3      | 1      |         |         |
| 18        | 1      |        |         |         |
| 20        |        |        |         |         |
| 22        |        |        |         |         |
| 25        |        |        |         |         |
| 振動加速度(中數) | 16.0 g | 15.2 g | * 8.4 g | * 7.5 g |

これ等の諸表に於て、呼吸深化の出現條件は相當に散布し、可成りの幅を有してゐるから、便宜、中數を以て凡その條件を定めることとした。従つて、中數振動加速度を比較すれば、大體の傾向は察知し得られる筈である。

以上の諸表を通覧するに、振動時間の延長につれ、呼吸深化出現の時期は早くなり、換言すれば、輕微なる振動加速度にてもこの現象は誘致せられるやうになるやうである。また、3種の振動方式中では、堅振が最も早く、左右振が最も遅く、それだけに前者に於て特に振動の効果が大なることが推知し得られる。

尙ほ、振動終了後、呼吸深化の繼續時間を調査するに、次表のやうである。

## (b) 呼吸深化持続時間

## (1) 前 後 振

| 振動時間<br>g | 2<br>分                    | 4<br>分            | 8<br>分         | 16分           |
|-----------|---------------------------|-------------------|----------------|---------------|
| 8         |                           |                   |                | 5(1)          |
| 10        |                           | 2(1)              | 1(1)2(1)3(1)   | 2(1)3(1)      |
| 13        |                           | 3(1)4(1)5(1)      | 1/2(1)2(1)5(1) | 3(1)5(1)10(1) |
| 15        | 1(1)2(2)                  |                   | 2(1)7(1)10(1)  | 2(1)5(1)7(1)  |
| 16        | 2(2)3(3)                  | 1(1)5(1)9(1)      | 10(1)          | 15(1)         |
| 18        | 1(1)3(2)5(2)6(2)<br>10(2) | 1(1)2(2)5(1)10(1) | 15(1)          |               |
| 20        | 4(1)10(2)15(1)            |                   |                |               |
| 22        | 8(1)                      | 10(1)15(1)        |                |               |
| 25        |                           |                   |                |               |
| 平均持続時間    | 5.18 分                    | 5.28 分            | 5.23 分         | 5.70 分        |

括弧内の数字は個数、括弧外の数字は分を単位とする持続時間。(以下同様)。

## (2) 左右振

| 振動時間<br>g | 2分               | 4分                            | 8分        | 16分               |
|-----------|------------------|-------------------------------|-----------|-------------------|
| 8         |                  |                               |           |                   |
| 10        |                  |                               | 2(1)      | 3(1)              |
| 13        | 1/2(1)           | 1(1)                          | 2(2)3(1)  | 2(1)3(2)4(1)5(2)  |
| 15        |                  | 1(1)2(1)                      | 7(1)8(1)  | 10(1)             |
| 16        | 1(1)4(1)         | 2/3(1)1(1)                    | 2(1)5(1)  | 4(1)7(1)9(1)15(1) |
| 18        | 1(1)2(1)10(1)    | 1/3(1) <sup>3</sup> /4(1)1(2) | 5(1)      | 11/2(1)5(1)20(1)  |
| 20        | 1(1)2(2)3(1)5(2) | 2(1)4(1)                      | 9(1)15(1) |                   |
| 22        | 7(1)             | 1(1)2(2)5(1)                  |           |                   |
| 25        | 1(1)2(1)4(1)5(1) |                               |           |                   |
| 平均持続時間    | 3.08分            | 1.59分                         | 5.45分     | 6.43分             |

## (3) 堅振

| 振動時間<br>g | 2分           | 4分       | 8分                | 16分             |
|-----------|--------------|----------|-------------------|-----------------|
| 8         |              |          | 1(1)2(2)3(2)5(2)分 | 5(1)10(2)15(2)分 |
| 10        |              |          | 5(1)7(1)          | 20(3)30(1)      |
| 13        |              | 5(1)     | 15(1)             | 15(1)           |
| 15        | 2(1)         | 3(1)5(1) | 10(1)             | 20(1)           |
| 16        | 3(1)5(1)6(1) | 6(1)     |                   |                 |
| 18        | 2(1)         |          |                   |                 |
| 20        |              |          |                   |                 |
| 22        |              |          |                   |                 |
| 25        |              |          |                   |                 |
| 平均持続時間    | 3.60分        | 4.75分    | 5.27分             | 16.36分          |

呼吸深化的持続時間は餘り規則的ではないけれども、振動加速度の増加に伴ひ、また振動時間の延長につれて、多少持続時間が大となり、それだけに同一の現象でも程度に相異なることが認められる。且つ、各種の振動方式中、この種の現象の比較的に短小なのは左右振であり、之に反して比較的に長大なのは堅振であるらしく、持続時間の點に徴しても、堅振が禍害が最も大ではないかと察せられる。

## (四) 顫 慄

振動直後、動物は眼を閉ぢて蹲まつた儘、暫時激しく顫慄する場合がある。この顫慄はさまで長くは續かないけれども、程度は可成り著しい。顫慄では、振動死の間際に示す掻搦や痙攣などとは異つて、軀を小刻みに震はせる。しかし、平常時折に示す寒慄とも違つて、間歇的でない所に特色がある。試みに、温暖なる場所に置いて見ても、この種の顫慄は決して消失しないから、全く別種のものであるらしい。かゝる顫慄の出現状況を、各種振動方式別に取纏めて見ると、次表の如くである。

## (a) 頸樑を生ずる振動強度

## (1) 前後振

| $g$  | 振動時間 | 2      | 4      | 8      | 16分    |
|------|------|--------|--------|--------|--------|
| 8    |      |        |        | 1      |        |
| 10   |      |        |        |        | 1      |
| 13   |      |        | 1      | 1      | 1      |
| 15   |      |        | 2      | 1      | 2      |
| 16   |      | 1      | 3      | 1      | 1      |
| 18   |      | 2      | 2      | 2      |        |
| 20   |      | 2      | 1      |        |        |
| 22   |      | 1      | 1      |        |        |
| 25   |      |        |        |        |        |
| 中　　數 |      | 19.0 g | 16.2 g | 15.5 g | 14.7 g |

## (2) 左右振

| $g$  | 振動時間 | 2      | 4      | 8      | 16分    |
|------|------|--------|--------|--------|--------|
| 8    |      |        |        |        | 1      |
| 10   |      |        |        |        |        |
| 13   |      |        | 1      | 1      | 2      |
| 15   |      | 1      | 2      | 2      | 3      |
| 16   |      | 4      | 4      | 2      | 1      |
| 18   |      | 5      | 6      | 1      |        |
| 20   |      | 6      | 5      |        |        |
| 22   |      | 5      |        |        |        |
| 25   |      | 1      |        |        |        |
| 中　　數 |      | 19.5 g | 17.3 g | 15.5 g | 14.8 g |

## (3) 垂直振

| $g$  | 振動時間 | 2      | 4      | 8      | 16分    |
|------|------|--------|--------|--------|--------|
| 8    |      |        |        |        | 1      |
| 10   |      |        |        | 1      | 1      |
| 13   |      | 4      | 2      | 3      | 1      |
| 15   |      | 5      | 4      | 2      |        |
| 16   |      | 5      | 6      | 1      |        |
| 18   |      | 6      | 1      |        |        |
| 20   |      | 4      |        |        |        |
| 22   |      |        |        |        |        |
| 25   |      |        |        |        |        |
| 中　　數 |      | 16.0 g | 15.5 g | 13.3 g | 10.0 g |

これ等の諸表を瞥見して直觀することは、顫慄も亦た相當に規則正しい出現をなすことであつて、振動強度の大となるにつれて、出現に要する振動時間が短くなり、また振動時間が長ければ、低い振動加速度でも容易に出現する事實である。更に、振動時間の短い場合には、出現加速度の範囲が廣く、時間の長い場合には、この範囲が幾分狭く、漸次、振動の影響が絶對的となる傾向のあることも見逃がせない。顫慄に關しても、堅振の場合が影響が最も大で、左右振では相當に振動強度が増さないと出現しないことも、併せ銘記し置くべきである。

次に、顫慄の持続時間を調査するに、大體、下の諸表の通りであつて、上述の推論は、持続時間の點からも、概ね裏書することが出来るやうである。

## (b) 顫慄 持 続 時 間

## (1) 前 後 振

| 振動時間<br>g | 2<br>分     | 4<br>分   | 8<br>分 | 16 分     |
|-----------|------------|----------|--------|----------|
| 8         |            |          | 1/3(1) |          |
| 10        |            |          |        | 2(1)     |
| 13        |            | 1(1)     | 1(1)   | 3(1)     |
| 15        |            | 1(1)3(1) | 4(1)   | 2(1)5(1) |
| 16        | 1/4(1)     | 1(2)2(1) | 2(1)   | 2(1)     |
| 18        | 1/2(1)1(1) | 1(1)2(1) | 1/2(1) |          |
| 20        | 1(1)2(1)   | 1/3(1)   |        |          |
| 22        | 1/2(1)     | 1/2(1)   |        |          |
| 25        |            |          |        |          |
| 平均持続時間    | 0.87分      | 1.28分    | 1.56分  | 2.80分    |

## (2) 左 右 振

| 振動時間<br>g | 2<br>分                     | 4<br>分             | 8<br>分     | 16 分           |
|-----------|----------------------------|--------------------|------------|----------------|
| 8         |                            |                    |            | 1(1)           |
| 10        |                            |                    |            | 1/3(1)1(1)     |
| 13        |                            | 1/6(1)             | 1(1)       | 1/2(1)2(1)7(1) |
| 15        | 1/2(1)                     | 1/6(1)1/3(1)       | 1/2(1)2(1) | 1/2(1)2(1)7(1) |
| 16        | 1/4(1)1/3(1)1/2(1)<br>2(1) | 1/4(2)1/3(1)1(1)   | 1(1)5(1)   | 1(1)           |
| 18        | 1/4(3)1/3(2)               | 1/6(1)1/3(2)1/2(1) | 3(1)       |                |
| 20        | 1/6(1)1/4(2)1/2(2)         | 1(2)               |            |                |
| 22        | 1(1)                       |                    |            |                |
| 25        | 1/6(2)1/4(1)1/2(2)         |                    |            |                |
| 平均持続時間    | 0.45分                      | 0.45分              | 3.25分      | 1.83分          |

## (3) 壓 振

| 振動時間<br>g | 2 分  | 4 分                                | 8 分                  | 16 分   |
|-----------|--|------------------------------------|----------------------|--------|
| 8         |  |                                    |                      |        |
| 10        |  |                                    |                      |        |
| 13        | $\frac{1}{2}(3)1(1)$                             | $\frac{1}{3}(1)1(1)$               | $\frac{1}{2}(1)1(2)$ | $1(1)$ |
| 15        | $\frac{1}{3}(1)\frac{1}{2}(2)1(2)$               | $\frac{1}{3}(1)\frac{1}{2}(2)1(1)$ | $1(1)2(1)$           | $2(1)$ |
| 16        | $\frac{1}{3}(1)1(2)2(2)$                         | $\frac{2}{3}(2)1(3)2(1)$           | $2(1)$               |        |
| 18        | $\frac{1}{4}(1)\frac{1}{3}(2)\frac{1}{2}(2)1(1)$ | $\frac{1}{2}(1)$                   |                      |        |
| 20        | $\frac{1}{3}(1)\frac{1}{2}(1)2(1)5(1)$           |                                    |                      |        |
| 22        |  |                                    |                      |        |
| 25        |  |                                    |                      |        |
| 平均持続時間    | 0.95分  | 0.81分                              | 1.14分                | 2.00分  |

## (八) 動作停止

動物はまた振動終了後暫らくは自發動作を停止して、一見運動不能の如き佇立状態を呈示する。しかし、これが運動機能の障礙でないことは、指先を以て動物をつゝけば、極めて緩慢なる歩行を營むことによつて知られる。即ち、一時的に氣力を喪失し、運動意志の低下を來たしてゐるに過ぎないのである。而して、僅かの時間を経過すれば、忽ち氣力を回復して、再び平常の「ちよこちよこ歩き」を開始する。我々は動物を軽く指先にてつゝき乍ら、平常動作に復するまでの時間を測定したのである。

尤も、この場合、自然の儘に放任して自發的に平常動作を示すまでの時間はかかるのが懲當かとも思はれるけれども、白マウスは健全なる場合でも休止して動かないことが多いから、果して動作停止なのであるか、單なる休止なのであるか判然しないので、故に軽くつゝく手段を探つたのである。従つて、これがために多少回復時間が短縮せられる傾のあつたことは否み難い。

今、この種の動作停止現象の出現状況を表示すれば、大體、下表の如くである。

## (a) 動作停止を生ずる振動強度

## (1) 前 後 振

| 振動時間<br>g | 2      | 4      | 8      | 16 分   |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 8         |        |        |        |        |
| 10        |        |        |        |        |
| 13        |        | 1      | 2      |        |
| 15        |        | 2      | 4      |        |
| 16        | 1      | 2      | 2      |        |
| 18        | 2      | 3      |        |        |
| 20        | 2      | 2      |        |        |
| 22        | 3      | 1      |        |        |
| 25        | 1      |        |        |        |
| 中 数       | 20.5 g | 17.7 g | 15.1 g | 15.0 g |

## (2) 左右振

| 振動時間<br>g | 2      | 4      | 8      | 16分    |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 8         |        |        |        |        |
| 10        |        |        | 2      | 2      |
| 13        |        | 1      | 2      | 4      |
| 15        |        | 2      | 2      | 8      |
| 16        |        | 2      | 7      | 2      |
| 18        | 2      | 4      | 1      |        |
| 20        | 3      | 3      |        |        |
| 22        | 2      |        |        |        |
| 25        | 1      |        |        |        |
| 中　　數      | 20.7 g | 17.7 g | 15.7 g | 14.8 g |

## (3) 堅　　振

| 振動時間<br>g | 2      | 4      | 8      | 16分    |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 8         |        |        |        | 2      |
| 10        |        |        | 1      | 2      |
| 13        |        |        | 4      | 1      |
| 15        |        | 2      | 2      |        |
| 16        | 2      | 3      |        | 1      |
| 18        | 2      | 3      |        |        |
| 20        | 1      |        |        |        |
| 22        |        |        |        |        |
| 25        |        |        |        |        |
| 中　　數      | 17.8 g | 16.3 g | 13.5 g | 10.5 g |

これ等の諸表に於ても、先の呼吸深化並に顫慄の場合に於けると略々同様の結果が現はれてゐる。但し、前二者に比して、孰れの振動方式に在ても、現象の出現に要する振動加速度の程度が大であり、それだけに生體に對する意義が重く、警戒を要することが推察せられるのである。

また、この現象の持続時間を調査するに、次表の通りであつて、これにも亦た既述の場合に於けると同様の傾向が見出される。

## (b) 動作停止持続時間

## (1) 前後振

| 振動時間<br>g | 2<br>分       | 4<br>分       | 8<br>分               | 16 分     |
|-----------|--------------|--------------|----------------------|----------|
| 8         |              |              |                      |          |
| 10        |              |              |                      | 1(1)     |
| 13        |              | 2(1)         | 1/2(1)1(1)           | 1(1)2(1) |
| 15        |              | 1(1)5(1)     | 1/3(1)1/2(1)1(1)2(1) | 2(1)5(2) |
| 16        | 1(1)         | 2(1)5(1)     | 2(1)4(1)             | 5(1)7(1) |
| 18        | 1(1)2(1)     | 1(1)3(1)4(1) |                      |          |
| 20        | 1/2(1)2(1)   | 1(1)3(1)     |                      |          |
| 22        | 2(1)3(1)5(1) | 3(1)         |                      |          |
| 25        | 2(1)         |              |                      |          |
| 平均持続時間    | 2.05分        | 2.72分        | 1.42分                | 3.50分    |

## (2) 左右振

| 振動時間<br>g | 2<br>分   | 4<br>分       | 8<br>分       | 16 分             |
|-----------|----------|--------------|--------------|------------------|
| 8         |          |              |              |                  |
| 10        |          |              | 2(1)3(1)     | 1/3(1)1(1)       |
| 13        |          | 1(1)         | 1/2(1)2(1)   | 1/2(2)2(1)5(1)   |
| 15        |          | 1(1)2(1)     | 2(1)4(1)     | 1(5)2(1)5(1)6(1) |
| 16        |          | 2(1)3(1)     | 1(3)3(1)5(3) | 2(1)10(1)        |
| 18        | 1(1)2(1) | 1(1)2(2)3(1) | 1(1)         |                  |
| 20        | 1(1)2(2) | 1(1)4(1)5(1) |              |                  |
| 22        | 4(1)5(1) |              |              |                  |
| 25        | 5(1)     |              |              |                  |
| 平均持続時間    | 2.75分    | 2.25分        | 2.60分        | 2.45分            |

## (3) 堅振

| 振動時間<br>g | 2<br>分   | 4<br>分       | 8<br>分       | 16 分     |
|-----------|----------|--------------|--------------|----------|
| 8         |          |              |              |          |
| 10        |          |              | 1(1)         | 2(1)4(1) |
| 13        |          |              | 1(1)2(2)5(1) | 12(1)    |
| 15        |          | 4(1)5(1)     | 6(1)10(1)    |          |
| 16        | 2(1)4(1) | 1(1)3(1)6(1) |              | 15(1)    |
| 18        | 3(1)5(1) | 1(1)4(2)     |              |          |
| 20        | 5(1)     |              |              |          |
| 22        |          |              |              |          |
| 25        |          |              |              |          |
| 平均持続時間    | 3.80分    | 3.50分        | 3.86分        | 7.33分    |

## (二) 運動不能

動作停止と似て非なる現象に運動不能と稱すべきものがある。之は前者よりも苛烈なる條件の場合に現はれるのであるが、明白に動作停止とは區別することが出来る。即ち、動物は四肢の自由を喪ひ、躰軀を支へることが出来なくなつて、匍匐の姿勢にて不動状態を續けるのである。この際、輕度のものは前肢をのばし、後肢は普通のまゝで匍匐するが、重度のものでは前肢も後肢も投げ出して、文字通りに腹這ひの姿勢をとる。但し、横臥若くは顛倒するが如き事例は極めて稀であつて、これ等は大抵まもなく死の轉機をとるやうである。

運動不能の状態も、一定時間を経過すれば、漸次回復して、平常の動作を示すやうになるが、この際、先づ後肢の自由を回復して正座し、次に前肢を縮めて腹位を高め、暫らく動作停止の状態に入つて、然る後に歩行を開始する。中には、數十秒にして回復して、歩行を始めるものもあるが、かかる場合には、匍匐状態から立上つて直ちに歩行するやうであつて、

## (a) 運動不能を生ずる振動強度

## (1) 前後振

| 振動時間<br>g | 2      | 4      | 8      | 16分    |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 8         |        |        |        |        |
| 10        |        |        |        |        |
| 13        |        |        |        |        |
| 15        |        | 1      | 3      | 3      |
| 16        | 1      | 4      | 1      | 1      |
| 18        |        | 1      |        | 3      |
| 20        | 3      | 2      | 1      |        |
| 22        | 1      | 4      |        |        |
| 25        | 3      |        |        |        |
| 中　　數      | 21.0 g | 19.5 g | 15.2 g | 16.0 g |

## (2) 左右振

| 振動時間<br>g | 2      | 4      | 8      | 16分    |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 8         |        |        |        |        |
| 10        |        |        |        | 4      |
| 13        |        | 1      |        | 2      |
| 15        | 1      | 1      | 4      | 3      |
| 16        | 1      | 1      | 2      | 6      |
| 18        |        | 2      | 2      | 3      |
| 20        | 1      |        |        |        |
| 22        | 2      | 1      |        |        |
| 25        | 1      |        |        |        |
| 中　　數      | 21.0 g | 17.0 g | 15.5 g | 15.5 g |

## (3) 堅 振

| 振動時間<br>g | 2      | 4      | 8      | 16 分   |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 8         |        |        |        | 1      |
| 10        |        |        | 4      | 6      |
| 13        |        | 2      | 3      | 4      |
| 15        |        |        | 5      | 1      |
| 16        | 1      | 3      | 2      | 1      |
| 18        | 3      | 3      | 2      |        |
| 20        | 1      | 1      |        |        |
| 22        |        | 1      |        |        |
| 25        |        |        |        |        |
| 中 数       | 18.0 g | 17.0 g | 14.8 g | 12.0 g |

上述の経過は必ずしも明かには認められない。

運動不能の状態に陥つた動物でも、一旦回復すれば、その後の運動は正常であつて、全身若くは半身不隨、或は歩行困難その他の運動障礙をば残存するが如きことはない。かかる現象の一過性は、振動がたゞ1回に限られた爲であるか、又は振動條件がまだ不十分なることに由るのかも知れないが、死生の境を彷徨してなほ格別の影響を残存しないのであるから、この事實は相當に研究に値する事柄と解せられる。

今、運動不能の起發状況を表示すれば、前表の如くである。

これ等の諸表を概觀して氣付くことは、運動不能なる現象は相當に苛烈なる條件に於て、一般に現はれる事實である。即ち、振動加速度を相當に高めるか、振動時間を相當に長くしなければ現はれないやうであつて、しかも、出現に要する加速度の程度は曩に掲げた振動死の場合と甚だ相近く、それだけにこの現象が死の危険に頗る接近せることを暗示するものがある。

運動不能の現象に於ても、振動時間や振動強度の大小がその出現に至大の關係をもつことが觀取せられるが、これは寧ろ他の場合に於けるよりも一層重大なるやうに見受けられる。また、各種の振動方式中、堅振が最も影響する所が多く、他の方式に比して幾分運動不能を起し易い傾があることも見落せない。

次に、この現象に於ける禍害の程度を見るために、運動不能の持続時間を調査比較すれば、次表の通りである。

## (b) 運動不能持続時間

## (1) 前後振

| 振動時間<br>g | 2分            | 4分           | 8分       | 16分          |
|-----------|---------------|--------------|----------|--------------|
| 8         |               |              |          |              |
| 10        |               |              |          |              |
| 13        |               |              |          |              |
| 15        |               | 3(1)         | 4(1)5(2) | 5(1)6(1)8(1) |
| 16        | 3(1)          | 1(1)4(1)5(2) | 4(1)     | 5(1)         |
| 18        |               | 3(1)         |          | 5(1)10(2)    |
| 20        | 5(1)8(1)10(1) | 10(1)15(1)   | 10(1)    |              |
| 22        | 4(1)          | 3(2)5(2)     |          |              |
| 25        | 2(1)3(1)5(1)  |              |          |              |
| 平均持続時間    | 5.00分         | 5.16分        | 5.60分    | 7.00分        |

## (2) 左右振

| 振動時間<br>g | 2分       | 4分       | 8分           | 16分                 |
|-----------|----------|----------|--------------|---------------------|
| 8         |          |          |              |                     |
| 10        |          |          |              | 3(1)5(1)10(1)12(1)  |
| 13        |          | 3(1)     |              | 2(1)4(1)            |
| 15        | 1(1)     | 5(1)     | 1(1)2(2)5(1) | 2(1)3(1)5(1)        |
| 16        | 2(1)     | 1(1)     | 1(1)4(1)     | 5(2)10(1)15(2)16(1) |
| 18        |          | 3(1)8(1) | 6(1)10(1)    | 2(2)8(1)            |
| 20        | 3(1)     |          |              |                     |
| 22        | 2(1)3(1) |          |              |                     |
| 25        | 3(1)     |          |              |                     |
| 平均持続時間    | 2.33分    | 4.00分    | 3.78分        | 6.88分               |

## (3) 壊振

| 振動時間<br>g | 2分            | 4分            | 8分                  | 16分            |
|-----------|---------------|---------------|---------------------|----------------|
| 8         |               |               |                     | 2(1)           |
| 10        |               |               | 2(1)3(1)4(1)5(1)    | 5(3)10(2)15(1) |
| 13        |               | 2(1)5(1)      | 5(1)7(1)8(1)        | 7(1)10(2)18(1) |
| 15        |               |               | 5(1)10(2)15(1)20(1) | 20(1)          |
| 16        | 5(1)          | 5(1)7(1)8(1)  | 15(1)20(1)          | 30(1)          |
| 18        | 5(1)8(1)10(1) | 4(1)7(1)10(1) | 17(1)20(1)          |                |
| 20        | 10(1)         | 12(1)         |                     |                |
| 22        |               | 15(1)         |                     |                |
| 25        |               |               |                     |                |
| 平均持続時間    | 7.60分         | 7.50分         | 10.37分              | 11.15分         |

運動不能現象の持続時間は概して長く、特に堅振の場合に於て甚だしいものがある。また、振動時間が伸び、振動加速度が増すにつれて、持続時間も延長してゐる傾向も明らかに窺はれる。個々の場合に於ける結果は相當に不整一であるけれども、全體を通覧すれば、可成りの規則性の存在することが認められ、漸次、振動死の限界に近接しつゝあることが察せられるのである。

#### (ホ) 充血、出血

實驗動物中には、振動時に局所的充血若しくは出血を生ずるものがある。その多くは鼻出血或は尾部又は耳殻の充血であるが、これ等は振動終了後、間もなく止みまたは消えて、格別の影響を残さない。充血若しくは出血中と雖も、他に何等の異状はなく、動作は平常と變らない場合が多い。これ等が振動中の打撲或は摩擦によるものでないことは、動物を綿にくるんで振動させて見ても、同様の現象を呈する事實からも判斷が出来る。<sup>(1)</sup>

#### (a) 充血、出血を生ずる振動強度

##### (1) 前後振

| 振動時間<br>g | 2      | 4      | 8      | 16分    |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 8         |        |        |        |        |
| 10        |        |        |        |        |
| 13        | 1      | 1      |        |        |
| 15        |        | 1      | 1      |        |
| 16        | 3      | 2      |        |        |
| 18        | 2      | 3      | 1      |        |
| 20        | 2      |        |        |        |
| 22        |        |        |        |        |
| 25        |        |        |        |        |
| 中　　數      | 17.0 g | 16.2 g | 16.0 g | 15.0 g |

##### (2) 左右振

| 振動時間<br>g | 2      | 4      | 8      | 16分    |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 8         |        |        |        |        |
| 10        |        |        |        |        |
| 13        | 1      |        |        |        |
| 15        | 1      | 2      |        |        |
| 16        | 2      | 1      |        |        |
| 18        | 4      | 1      |        |        |
| 20        |        |        |        |        |
| 22        |        |        |        |        |
| 25        |        |        |        |        |
| 中　　數      | 17.0 g | 16.5 g | 15.2 g | 17.0 g |

(1) 足趾の出血や掌蹠の鬱血は明かに摩擦による。

## (3) 堅 振

| 振動時間<br>g | 2      | 4      | 8      | 16分 |
|-----------|--------|--------|--------|-----|
| 8         |        |        |        |     |
| 10        |        |        |        |     |
| 13        | 2      | 1      |        |     |
| 15        | 1      |        | 1      |     |
| 16        | 2      | 1      |        |     |
| 18        | 3      | 4      | 1      |     |
| 20        | 2      |        |        |     |
| 22        |        |        |        |     |
| 25        |        |        |        |     |
| 中 数       | 17.0 g | 17.7 g | 16.5 g |     |

充血並に出血の出現状態は、振動死の場合と相近く、前後振では鼻部並に尾部に、また左右振では耳殻に、また堅振では眼球に、特に顯著なる症狀が認められる。

しかし、孰れも一時的の現象で、大した影響も蒙らないばかりか、前表に明かなやうに規則性にも乏しいから、恐らく偶然の條件から誘發せられるものらしく思はれる。

また、各種の振動方式による差異も少く、振動時間とも比較的無關係の様子であつて、大體、振動強度が 15~16 g に達すれば、出現する傾向があるらしく察せられる。

## (ヘ) 其他の現象

動物は實驗中にその他種々の動作的變調を呈するも、孰れも件數が少く、偶發的のものらしいが、その中、多少とも注目すべきものを擧げて見ると、次の如きがある。

振動直後、右廻り若くは左廻りの旋回運動をなす事例は、堅振の場合に若干あつたが、遠心加速度の場合ほど顯著ではない。左右振にこの種の事例を見ないのは、加速度の方向が往復的である關係かと思はれる。

振動終了後、體軀を伸して右側若くは左側に轉がる現象は、左右振及び堅振の場合に若干見出されたが、これは數秒にして消失する。

これ等は恐らく、平衡器管又は小腦の一時的機能障礙に本づく運動失調ではないかと思はれる。

また、動物が舌を噛む事例は、前後振に斷然多く、32 例を數へたが、左右振では 4 例、堅振では僅かに 1 例であつて、前後振の場合だけが問題である。これは必ずしも鼻口の打擊によるものではなく、綿で顔面をつゝんでも相當に生ずるのであるから、前後振による舌の振動が噛み易き状況を齎らすためかと推せられる。

然し乍ら、これ等の現象には一般に必然性が乏しく、事例の數も亦た概して多くはないのであるから、之を振動死の前驅兆候と見做すには聊か躊躇せざるを得ないのである。我々は寧ろこれ等をば振動に伴ふ偶發的事件として處理するを以て適當と信ずる次第である。

## (ii) 前驅兆候の序列

然らば、前記の前驅諸兆候の序列即ち出現の順序は如何といふに、これ等を生起せしめるに必要な振動加速度を比較して、夫々の重要度を検討すれば、その大體を推定し得る。

即ち、前掲諸表の結果中、夫々の兆候の出現振動限度を対照するに、下表の通りである。

(1) 前 後 振

| 兆 候      | 振動時間   |        |        |        |
|----------|--------|--------|--------|--------|
|          | 2      | 4      | 8      | 16分    |
| 呼 吸 深 化  | 18.1 g | 16.5 g | 14.0 g | 13.0 g |
| 顫 慄      | 19.0   | 16.2   | 15.5   | 14.7   |
| 動 作 停 止  | 20.5   | 17.7   | 15.1   | 15.0   |
| 運 動 不 能  | 21.0   | 19.5   | 15.2   | 16.0   |
| 充 血, 出 血 | 17.0   | 16.2   | 16.0   | 15.0   |

(2) 左 右 振

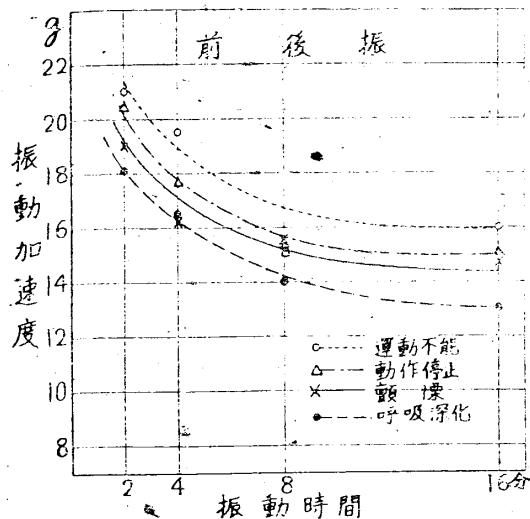
| 兆 候      | 振動時間   |        |        |        |
|----------|--------|--------|--------|--------|
|          | 2      | 4      | 8      | 16分    |
| 呼 吸 深 化  | 20.1 g | 17.7 g | 15.3 g | 15.0 g |
| 顫 慄      | 19.5   | 17.3   | 15.5   | 14.8   |
| 動 作 停 止  | 20.7   | 17.7   | 15.7   | 14.8   |
| 運 動 不 能  | 21.0   | 17.0   | 15.5   | 15.5   |
| 充 血, 出 血 | 17.0   | 16.5   | 15.2   | 17.0   |

(3) 嶅 振

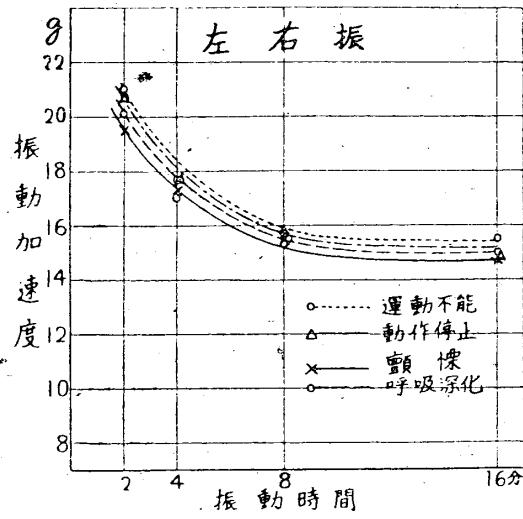
| 兆 候      | 振動時間   |        |       |       |
|----------|--------|--------|-------|-------|
|          | 2      | 4      | 8     | 16分   |
| 呼 吸 深 化  | 16.0 g | 15.2 g | 8.4 g | 7.5 g |
| 顫 慄      | 16.0   | 15.5   | 13.3  | 10.0  |
| 動 作 停 止  | 17.8   | 16.3   | 13.3  | 10.5  |
| 運 動 不 能  | 18.0   | 17.0   | 14.8  | 12.0  |
| 充 血, 出 血 | 17.0   | 17.7   | 16.5  | ?     |

これ等の諸表をもつと理解し易くするために、各種の振動方式別に、夫々の兆候の出現條件を圖示すれば、次頁の3圖の如くである。

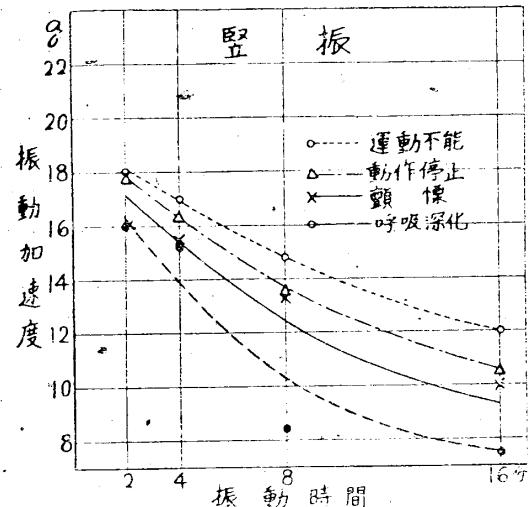
即ち、各種の前驅兆候の出現状況は孰れも振動加速度と振動時間との函數であつて、凡そ規則正しい對數曲線状の経過をとることが明白である。



第 14 圖



第 15 圖



第 16 圖

これ等の圖表に従へば、各種の兆候中、比較的に早く、即ち振動加速度が少く振動時間も短くて現はれるのは、呼吸深化であるらしく、顎樞が之に次ぎ、更に動作停止、最後に運動不能の順序であるやうに見受けられる。尤も、左右振の場合に於ては、呼吸深化と顎樞の順序が轉逆してゐるやうであるが、左右振では4種の兆候の出現條件が略々等しく、曲線は相互に近接してゐるから、偶然の事情からかゝる轉逆を呈したものとも解せられる。況んや、前後振並に堅振に於ける兩種の兆候の順位は略々絶對的であつて、呼吸深化の方が早期に現はれることは疑ふ餘地がないやうである。

從つて、我々が振動死の前驅兆候として、これ等の中の比較的に輕微なる現象、たとへば呼吸深化若くは顎樞に着眼し、振動中にこの種の兆候の出現を見て振動を中止することにすれば、恐らく大部分の動物を死より免かれしめて、生命を全からしめることを得るばかりでなく、格別の害悪をも残存せずして健全を保障することが出来るわけであつて、謂はゞ振動の影響を相當に防止し得べき筈である。

## 兆候出現の順序

| 兆候   | 振動方式 | 前振 | 後振 | 左振 | 右振 | 堅振 |
|------|------|----|----|----|----|----|
| 呼吸深化 |      | 1  |    | 2  |    | 1  |
| 顫慄   |      | 2  |    | 1  |    | 2  |
| 動作停止 |      | 3  |    | 3  |    | 3  |
| 運動不能 |      | 4  |    | 4  |    | 4  |

この實驗は白マウスに關するものであるから、之を以て直ちに人間の場合に當嵌めることは出來ないけれども、之と同様の手口に於て研究を進めて行くならば、人間の場合にも、振動に本づく危害を防止し、禍害を最少限度に食止め得べき安全對策を發見し得る見込みのあることは疑へない。然し乍ら、茲では論考を單なる動物實驗の範圍内に限り、一應の成果を報告するだけに止めて置く。

次に、各種兆候の出現の状況を振動方式に就て比較して見ると、悉ての兆候を通じて振動の影響の最も激しいのは堅振であつて、4種の曲線ともに低く、振動加速度も振動時間も比較的に輕度にして兆候が出現してゐる。之に反して、悉ての曲線が高く、振動條件が大なるを要するものは左右振であつて、それだけに振動作用が幾分輕少なることが察せられる。

更に、各種兆候の持続時間を、振動方式別に對照して見ると、次の諸表の如くであるが、一般に、振動時間の増加につれて持続時間が延長して行くこと、及び兆候の持続時間は左右振の場合に比較的に短く、堅振に於て最も大なること等は確認せられるが、兆候相互の時間的關係は、夫々の現象的意味が異なるために、比較が困難であつて、持続時間の大小を以て直ちに各種兆候の振動的效果を論定することはむづかしいかと思はれる。

## (1) 前後振

| 兆候   | 振動時間 | 2分    | 4分    | 8分    | 16分   |
|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 呼吸深化 |      | 5.18分 | 5.28分 | 5.23分 | 5.70分 |
| 顫慄   |      | 0.87  | 1.28  | 1.56  | 2.80  |
| 動作停止 |      | 2.05  | 2.72  | 1.42  | 3.50  |
| 運動不能 |      | 5.00  | 5.16  | 5.60  | 7.00  |

## (2) 左右振

| 兆候   | 振動時間 | 2分    | 4分    | 8分    | 16分   |
|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 呼吸深化 |      | 3.08分 | 1.59分 | 5.45分 | 6.43分 |
| 顫慄   |      | 0.45  | 0.45  | 2.25  | 1.83  |
| 動作停止 |      | 2.75  | 2.25  | 2.60  | 2.45  |
| 運動不能 |      | 2.33  | 4.00  | 3.78  | 6.88  |

## (3) 堅 振

| 兆 候     | 振動時間 | (3) 堅 振 |      |       |       |
|---------|------|---------|------|-------|-------|
|         |      | 2 分     | 4 分  | 8 分   | 16 分  |
| 呼 吸 深 化 |      | 3.60    | 4.75 | 5.27  | 16.36 |
| 顫 慄     |      | 0.95    | 0.81 | 1.14  | 2.00  |
| 動 作 停 止 |      | 3.80    | 3.50 | 3.86  | 7.33  |
| 運 動 不 能 |      | 7.60    | 7.50 | 10.37 | 11.15 |

## (3) 要 約

白マウスを被験動物として、振動臺上にて前後振、左右振並に堅振を課し、之に 10~20 g の振動加速度を 1~16 分間負荷して、振動死並に各種の前駆兆候の出現状況を観測し、併せてその禍害の程度と経過とを調査したる所、大要次の如き結果を得た。

- (1) 振動の影響は堅振に於て最大で、前後振が之に次ぎ、左右振はさまで著しくない。振動死の起發率は、堅振約 75%，前後振約 45%，左右振約 35% であつて、振動方式の如何によつて、振動效果に大なる差異がある。
- (2) 振動死の出現は概ね悉無律に従ふものゝ如く、生死の境は寛に紙一重である。
- (3) 振動死の出現は性別とは關係が薄く、雌雄の死亡率は略々同一である。
- (4) 振動死の起發状況は振動時間並に振動加速度の増減につれて増減し、その變化關係は極めて規則的正しい對數曲線を描く。而して、一般に振動時間の長短よりは、振動加速度の大小の方が一層重大なる意義を有するものゝやうである。
- (5) 振動方式の如何を問はず、振動の作用には一種の時間餘裕並に強度餘裕の存在が認められる。即ち、振動時間に就て云へば、前後振 25 秒以下、左右振 30 秒以下、堅振 20 秒以下の短時間では 25% 以上の振動死を生ずることなく、また振動加速度に就て云へば、前後振 5~6 g 以下、左右振 12~13 g 以下、堅振 2.5~3 g 以下の振動加速度では同様に 25% 以上の振動死を見るが如きことはない。
- (6) 振動死の起發状況の規則性に基づき、我々は振動の諸元と振動死の起發率との關係を確定し、振動死の出現を豫測し、之が防止に必要な振動許容限界の要件を算定すべき若干の公式を樹てることが出來た。
- (7) 振動死の事例に就き剖見の結果、振動死の直接原因として、機械的震盪に基づく諸器官の擦傷若くは破傷、及び血液の流體力學的衝撃による血行障礙若くは血管破裂の 2 種をその最たるものと認めたが、前者は特に左右振並に堅振の場合に著しく、後者は比較的に前後振の場合に甚だしい模様である。また左右振では胸腔及び腹腔内の諸臓器の震盪が激しく、堅振に於ては寧ろ頭部從つてまた脳の震盪が大なるやうに見受けられる。従つて、これ等の振動方式の如何に應じ、夫々異つた防護対策が講ぜらるべきである。
- (8) 振動實驗後の死亡數は少く、しかもその大半は振動終了直後に死亡してゐる。即ち、實驗後の死亡状況を比較すれば、左右振では約 1 曜夜、前後振では約 20 時間、堅振では僅かに 12 時間で死亡して居り、堅振がこの點でも最も影響が顯著である。

- (9) 振動死の前駆兆候としては、呼吸深化、顫慄、動作停止、動作不能並に局所的充血及び出血等があるが、これ等は大體規則正しい序列を成して出現するらしい。即ち、振動時間並に振動加速度の増加につれ、先づ呼吸深化が現はれ、顫慄が之に續き、動作停止が生じて、遂に運動不能に陥り、更に振動死を來たすものゝ如く、この順序は極めて整然である。但し、振動方式によつては、この順序が多少轉逆する場合もある。
- (10) これ等の諸前駆兆候の出現條件も概して規則的で、振動加速度並に振動時間に對して、常に一定の對數的關係を保持して推移するらしく見受けられる。従つて、我々は比較的に輕微なる現象、例へば呼吸深化若くは顫慄を目標として、一層大なる振動の害悪例へば振動死の禍害をば未然に防止することが出來さうである。