

動物之低體溫與微振

謝瑞香* 吳京一**

摘 要

為了解微振 microvibration (MV) 發生之機制，本實驗首先以 pentobarbital sodium 麻醉家兔，置放在冰盒上，使肛溫下降 5°C，然後回升至原有肛溫。用 MV 接受器在動物後腿記錄 MV 並觀察其變化，同時也記錄呼吸運動、肌電圖、心電圖以及血液之 pH、 P_{CO_2} 、 P_{O_2} ；除此外，又分析過度換氣對 MV 之影響。採用腦波頻率分析儀分析各種不同條件下之所有 MV。結果：

1. 在原來體溫時，可以看出 MV 以 20-30 Hz 或 30 Hz 以上者較為明顯，若體溫下降時，除了低頻率 (2-4 Hz) 沒有變化以外，其他頻率者則先有明顯的增加而後有消失之趨勢。

2. 當體溫下降 4-5°C 時，有變為 2-3 倍大明顯的肌電圖出現，此時心跳數減少，呼吸運動之振幅却變大，所有 MV 振幅變小。

3. 在低溫時，動脈血 P_{CO_2} 增加，pH 值、 P_{O_2} 減少；體溫回升時， P_{CO_2} 、pH、 P_{O_2} 均可回復至原狀。

4. 過度換氣使血中 P_{CO_2} 快速減少，pH 值及 P_{O_2} 顯著增加，MV 變小。

由以上實驗顯示 MV 發生之機制與體溫、心跳、呼吸運動三者有密切關係。

緒 言

1944 年，Rohracher⁵⁰ 首先發現動物體表，具有一種肉眼看不到之極微小振動，此種振動與腦波 (EEG) 類似，他認為這微小振動是肌肉之緊張所致。

到目前為止，脊椎動物，如兔、貓、狗、猴、人，均曾發現其體表上除了顫動 (shivering) 外，尚見一種平常無法感覺出來之極微小振動，此即所謂之微振 (microvibration MV)^{12,13,35,38,41}。其成因：Sugano 和 Inanaga^{50,52} 認

*私立中原大學醫學工程學系

**國立臺灣師範大學生物研究所

為脊髓反射通過 γ 運動系統，使骨骼肌微微收縮而造成。Euler等²⁰認為下視丘影響 γ 運動系統，而其 γ 傳出神經影響肌梭產生MV³³。也有認為MV與自主神經系或自主神經劑有密切關係^{39,42,43,46}。Marshall和Walsh³⁷認為前角細胞興奮性之變化，是MV產生之主要原因，而前角細胞之興奮性直接受大腦之活動性之影響。Takeya等⁵⁴研究懼高症(acrophobia)者與普通正常人比較，發現其MV與正常者差異很大，他們認為懼高症的人，容易焦慮，或者是自主神經容易興奮，因此MV變大。Ozaki等⁴⁴測兔和人，在情緒放鬆之條件下身體表面之MV，發現二種振動群，隨著心電圖之QRS棘波及T波一起出現。在睡眠和清醒之交替出現狀況下，MV也有被抑制與促進之現象交互出現。因此他們認為MV與心跳有關。

由上述之各種研究獲知，其MV之產生機制，至今仍不甚了瞭，但動物體表除顫抖(shivering)之外，MV之存在是不可否認的，因此本實驗欲探討以低溫或高溫之狀態下，是否還有MV之存在，其MV發生之機制如何為目的。

實驗材料與方法

一、材料、裝備及記錄法：

選取體重2.2~3.0公斤之雌雄家兔做為實驗材料。以pentobarbital sodium (30 mg/kg)腹腔注射，使輕度麻醉後，裝備好氣管、股動脈等插管，以便抽血及接人工呼吸儀。把動物放在未置冰塊之自製冰盒上面，然後固定在實驗盤上，隨時觀察肛溫變化。靜置兩小時左右，待體溫穩定之後才開始作實驗。在靜置前，把動物後腿外側之體毛

剃淨，然後在此處放置MV接受器，再接至腦波記錄儀。另取其記錄之MV，通過腦波頻率分析儀(EEG frequency analyzer MAF-5)分析，記錄MV頻率之分析，分析成2-4，4-8，8-13，13-20，20-30 Hz之五種峯，以其高度表示單位時間內之積分值。

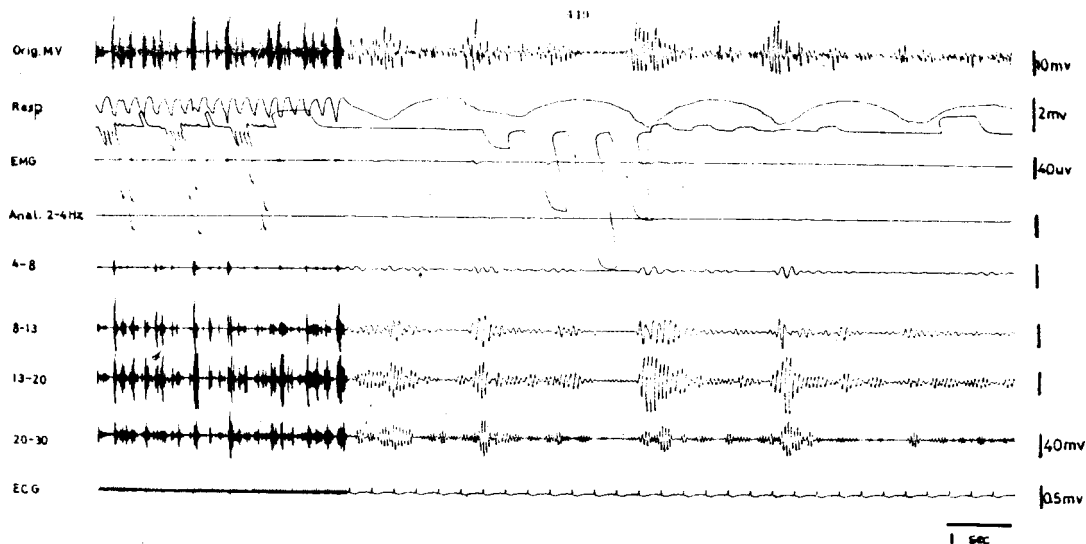
每次記錄時，分別以慢速(1.5公分/10秒)和快速(15公分/10秒)二種速度記錄之(圖一)。另用電子溫度計插入肛門內，測定肛溫。另外記錄家兔自發呼吸運動(respiratory movement)，以及使用針電極記錄第二導之心電圖；以雙針電極插在背側肌肉，而經過多用途記錄裝置，後接至腦波記錄儀上記錄肌電圖。

記錄紙上之速度以慢速為主，記錄MV、心電圖、肌電圖、呼吸運動及MV成分中分析成2-4，4-8，8-13，13-20，20-30 Hz之瞬間值，以及在10秒內各波成分之積分值。

抽出股動脈血0.2 c.c.，使用血液氣體分析儀(IL 213, Instrumentation Laboratory)測定抽血時血液之pH、Pco₂、Po₂。室溫、溼度、光線即在自然狀態。

在作任何處理前，連續記錄1小時，觀察MV變化，然後再作處理。由於MV可能與體溫、心跳、呼吸運動有關，本研究分五部分，即：

1. 體溫之降低：即在冰盒內加冰水，以每15~20分鐘降低1°C之速度，使共降低5°C，然後去冰水，再於冰盒內加溫水(37-40°C)，使體溫回升。隨時注意肛溫之變化，當肛溫改變時，便記錄MV。體溫每降1°C或回升1°C時，抽0.2 c.c.之股動脈血，以血液氣



圖一 未做處理前之MV以慢速(1.5公分/10秒),快速(15公分/10秒)記錄之。
original MV:原腦波, Res:呼吸運動, EMG:肌電圖, Anal. 2-4 Hz :
2-4 Hz 之分析瞬間值, 4-8 Hz :4-8 Hz 之分析瞬間值, 8-13 Hz :
8-13 Hz 之分析瞬間值, 13-20 Hz :13-20 Hz 之分析瞬間值, 20-30
Hz :20-30 Hz 之分析瞬間值, ECG:心電圖。

註:以下各圖(圖二、三、四、五)中亦同。

體分析儀,測定 pH、 P_{CO_2} 、 P_{O_2} 。

2. 靜脈注射熱原(pyrogen)($10 \mu\text{g}/\text{kg}$):向 Sigma chemical company 購買之 pyrogen (NO. L-3755),由靜脈注射 $10 \mu\text{g}/\text{kg}$ ($20 \mu\text{g}/\text{ml}$ 生理食鹽水)。當體溫上升至一程度不再上升,能維持 20~30 分鐘後,由肌肉注射退熱劑(sulpyrin)($500 \text{mg}/\text{body}$)(25% 2 c.c.),使體溫回復至原來體溫,體溫變化時,連續記錄 MV。

3. 靜脈注射腎上腺素(adrenalin)($100 \mu\text{g}/\text{body}$):由靜脈注射 0.1 c.c. 腎上腺素 ($1.0 \text{mg}/\text{c.c.}$),記錄且觀察之。

4. 肌肉注射乙醯膽素(acetylcholine)($20 \text{mg}/\text{body}$):由肌肉注射 0.4 c.c. 乙醯膽素 ($0.1 \text{g}/2 \text{c.c.}$),記錄且觀察之。

5. 過度換氣:將氣管插管接到人工呼吸儀,以 $100 \text{c.c.}/\text{kg}$ 之潮氣量(tidal volume),60 次/分之速度,連續進行 20 分鐘,且分別於不同時間抽 0.2c.c. 股動脈血測 pH、 P_{CO_2} 、 P_{O_2} 。

所有數據皆以平均值±標準偏差(Mean±SD)表示,而且用變方分析(analysis of variance),測驗其對照組差異的顯著性。

實驗結果

一、實驗桌上之微振

欲證明所得之 MV 並非實驗室或實驗桌上之 MV,於是把 MV 接受器放在實驗桌上,記錄實驗桌上之小微振,結果發現 $10 \mu\text{v}/\text{cm}$ 的最高利得(gain),仍不能記錄到 MV,因此可判斷實驗室及實驗桌並無微振,或有之亦對實驗沒有影響。

二、對照組

動物經輕度麻醉後，未作任何處理前，連續記錄1小時，觀察其MV。其中13-20 Hz，20-30 Hz 兩組較為明顯，8-13 Hz 次之，再次為4-8 Hz，而2-4 Hz 却不能記錄到。

三、實驗組

I.a. 降低體溫對MV的影響：

以每15~20分鐘降低1°C之速度，使體溫共下降5°C，動物自原體溫下降攝氏1~2度時往往產生強烈顫抖，然後隨溫度之繼續下降，此顫慄現象逐漸減弱（圖二）。

在本次實驗，把所記錄之MV用下列公式處理：

以2-4 Hz 為例即：

$$2-4\text{Hz} = \frac{(2-4\text{Hz}) \text{count}^2}{\sum \text{count}^2} \times 100(\%)$$

$$\begin{aligned} \sum \text{count}^2 = & (2-4\text{Hz}) \text{count}^2 + (4-8\text{Hz}) \\ & \text{count}^2 + (8-13\text{Hz}) \text{count}^2 \\ & + (13-20\text{Hz}) \text{count}^2 \\ & + (20-30\text{Hz}) \text{count}^2 \end{aligned}$$

$$\text{count} = \text{frequency}/\text{min} .$$

以積分值表示各種波之頻率(表一)

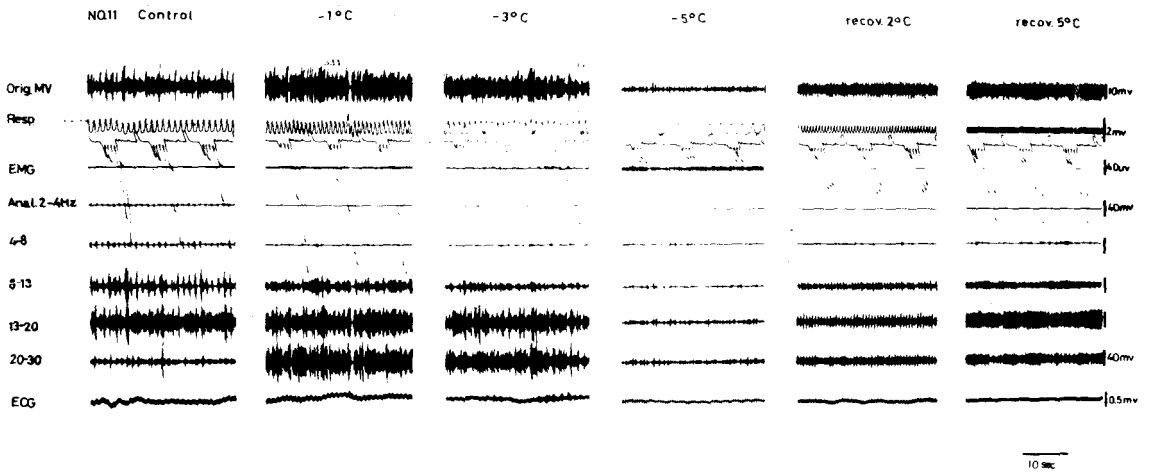
體溫降低時，除了低頻率(2-4Hz)沒有變化外，其它頻率則先有明顯的增加而後漸漸消失的趨勢，呼吸運動及心跳率也稍有改變，即降低至原體溫下4~5°C時，有明顯的肌電圖出現(圖二)，此時心跳數減少，呼吸運動之振幅却變大。

自原體溫下降4~5°C時，除心跳、呼吸運動變小外，所有MV變小(圖二)。若使體溫回升，此時隨體溫之上升，而MV隨之變小，當體溫回升至原體溫，MV却遲延4~6小時後才回復出

表一 體溫變化(體溫下降1至5°C及完全回升至原體溫)時MV積分值之變化

Temp (°C)	MV					Resp. rate (/min)	Heart rate (/min)
	2-4 Hz	4-8 Hz	8-13 Hz	13-20 Hz	20-30 Hz		
Control	-	5.0±3.3	22.9± 6.0	33.2±12.1	28.5± 4.2	50.5±5.0	237.7± 8.7
-1	-	13.7±5.5**	49.6± 8.5***	73.1± 7.0***	80.8± 8.5***	69.3±3.9**	266.7± 8.5***
-2	-	14.4±6.0**	45.6±11.0***	42.4±10.0	38.6±11.3	58.3±6.0	211.7±12.3**
-3	-	7.6±4.0	31.2± 8.3*	47.6±12.0	52.4±11.3*	54.3±5.3	202.0±10.0***
-4	-	5.5±3.3	18.9± 7.3	24.5± 7.7	21.0± 8.3	51.0±3.7	186.1± 9.0***
-5	-	3.5±2.3	10.2± 5.0	12.0± 3.8*	11.0± 4.7	47.7±4.3	169.7± 9.7***
recover							
1	-	4.2±1.0	11.2± 4.5	9.5± 4.5**	9.5± 4.5	53.3±7.0	161.3±10.7***
2	-	5.5±2.0	10.6± 4.7	11.2± 3.7 *	9.2± 4.0	60.7±4.7*	188.1±11.3***
3	-	3.7±1.4	6.8± 3.2*	9.7± 5.9**	9.5± 7.8	63.7±3.0*	207.3±13.3***
4	-	1.6±0.5**	5.1± 3.1*	7.8± 3.6**	6.7± 2.9*	64.7±3.7*	222.7±13.7*
5	-	13.8±3.0	24.5± 1.7	29.5± 2.3	27.5± 2.0	67.3±4.0	253.7± 9.0*

p<0.01 * p<0.001 n=12



圖二 分別記錄體溫變化對 MV 之影響。

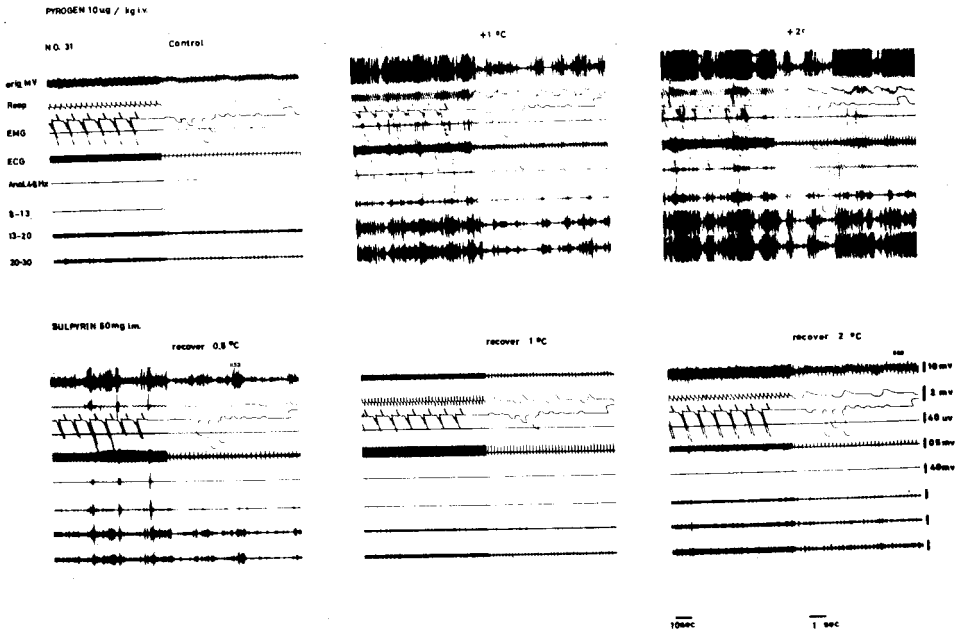
表二 體溫下降及回升時其血液 pH、Pco₂、Po₂ 變化。迴歸(1)體溫下降 1 至 5°C。(2)體溫下降 5°C 後回升至原體溫。

Temp (°C)	Blood		
	PH	Pco ₂ (mmHg)	Po ₂ (mmHg)
Control	7.219 ± 0.027	26.55 ± 0.07	86.45 ± 0.21
-1	7.157 ± 0.063	29.95 ± 0.21	84.80 ± 0.14
-2	7.147 ± 0.071	31.45 ± 0.21	83.30 ± 0.28
-3	7.078 ± 0.108	32.45 ± 0.49	82.45 ± 0.35
-4	7.041 ± 0.091	33.05 ± 0.07	77.01 ± 0.14
-5	6.910 ± 0.087	33.75 ± 0.21	74.41 ± 0.28
recover			
1	7.013 ± 0.036	32.80 ± 0.28	75.65 ± 0.35
2	7.139 ± 0.025	31.10 ± 0.42	78.35 ± 0.35
3	7.216 ± 0.001	30.15 ± 0.92	83.05 ± 0.21
4	7.236 ± 0.010	28.50 ± 0.28	84.35 ± 0.49
5	7.255 ± 0.020	26.65 ± 0.35	86.10 ± 0.42

Regression :

(1) $Y=0.07x+4.62$ (1) $Y=-1.29x+75.46$ (1) $Y=2.35x+0.56$
 $F=205.58^{**}$ $F=28.01^{**}$ $F=40.99^{**}$
(2) $Y=0.04x+4.19$ (2) $Y=-1.33x+76.19$ (2) $Y=2.47x-5.23$
 $F=41.24^{**}$ $F=432.44^{***}$ $F=90.47^{***}$

** p < 0.01 *** p < 0.001



圖三 分別記錄靜脈注射 Pyrogen (10µg/kg)及肌肉注射 sulpyrin (500 mg/body)時 MV之變化。

表三 注射 pyrogen, sulpyrin 體溫變化時 MV 之變化

Temp (°C)	MV					Resp. rate (/min)	Heart rate (/min)
	2-4 Hz	4-8 Hz	8-13 Hz	13-20 Hz	20-30 Hz		
Control	-	5.2±0.4	23.1± 4.4	31.0± 2.1	28.2± 4.4	46.1±12.1	260.1±8.7
Pyrogen +0.5	-	6.2±1.0	32.4± 3.7	66.6± 6.9*	61.3± 8.9*	60.2±12.0	294.1±5.2***
+1	-	7.9±2.2	45.1± 6.6**	78.6±11.1*	78.8±12.3**	69.1±11.3*	312.3±9.0***
+1.5	-	8.2±2.4	49.5± 6.7***	89.9±12.8**	83.7±15.0**	75.3±12.3*	326.2±9.2***
+2	-	4.8±1.2	64.6±10.1***	89.9±11.1**	89.9±12.0**	81.2±13.5**	339.4±6.4***
Sulpyrin recover 0.5	-	8.4±1.1*	16.8± 0.5	42.0± 2.9	35.5± 2.9	54.1±13.8	310.3±8.7***
1	-	4.8±0.1	6.7± 0.1*	17.4± 0.9	16.5± 2.0	48.2±13.8	292.0±3.5***
1.5	-	4.8±0.1	4.6± 0.1**	7.5± 0.4	10.0± 1.4	43.1±13.1	268.4±1.8
2	-	5.3±0.3	22.1± 2.2	34.8± 1.5	28.3± 1.8	46.1±12.1	260.1±8.7

* p<0.05 ** p<0.01 *** p<0.001 n=6

現。

I.b. 體溫降低時血液中 pH、Pco₂、Po₂ 之變化：

隨著體溫之降低，血液之 pH 減少，Pco₂ 增加，Po₂ 減少（表二），當溫度回升至原來體溫時，血液之 pH、Pco₂、Po₂ 也隨之回復至原值。

II. 靜脈注射 pyrogen 時的 MV 之變化：

若給予 pyrogen，經 40~50 分鐘，體溫開始上升。在 100~150 分鐘內可使體溫升高 1.0~2.0°C。此時隨體溫增高而 MV 亦增大，心跳率及呼吸率也隨之增加（圖三）。經 240~250 分鐘體溫開始回復，330~340 分鐘後才完全回復至原體溫（圖三、表三）。若給予 pyrogen，使體溫上升至 1.0~2.0°C 而不再上升，維持高原 (plateau) 20~30 分鐘後，若由肌肉注射退熱劑 (sulpyrin) (500 mg/body)，經 20~30 分鐘後，體溫便開始降低，而 70~90 分鐘後則完全回復至原來體溫。此時隨著體溫之下降，而 MV 隨之變小（圖三、表三），甚至完全消失。體溫回復至原來體溫，MV 却遲延 30~50 分鐘後才回復至原振幅。

III. 靜脈注射 adrenalin 時 MV 之變化：

若給予 adrenalin，1~2 分鐘後，心跳數增加，呼吸率隨之增加，此時 MV 亦增大（圖四），但 10~15 分鐘後，心跳數回復，此時 MV 也回復至原振幅。

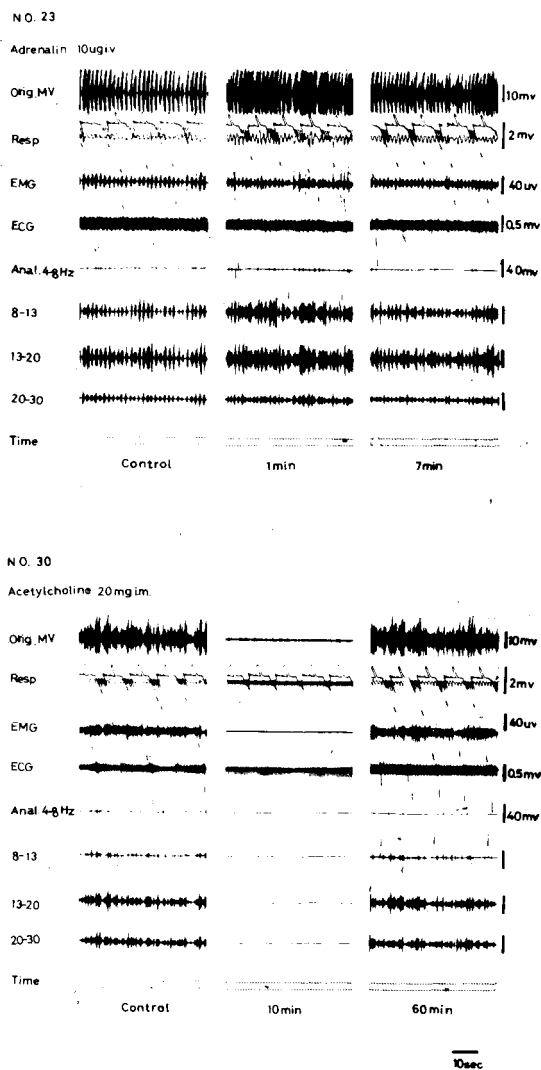
IV. 肌肉注射 acetylcholine 時 MV 的變化：

當給予 acetylcholine 時，在 4 分鐘後，心跳率降低，呼吸率降低，此時 MV 隨之變小，甚至完全消失（圖 4）。但 MV 比體溫回復至原體溫所需之時

間，要延遲 1~2 小時後才完全回復至原振幅。

V. 過度換氣時 MV 之變化：

使用人工呼吸儀，以 100 ml/kg 之潮氣量 (tidal volume)，60 次/分之頻率，連續 20 分鐘，然後回復至自發呼吸，發現 MV 在過度呼吸開始 1 分後 MV 即時變小，甚至完全消失（圖五）



圖四 分別記錄靜脈注射 adrenalin (100μg/body) 及肌肉注射 acetylcholine (20 mg/body) 時之 MV 之變化。

表四 A : 注射 adrenalin 時 MV 之變化
B : 注射 acetylcholine 時 MV 之變化

A

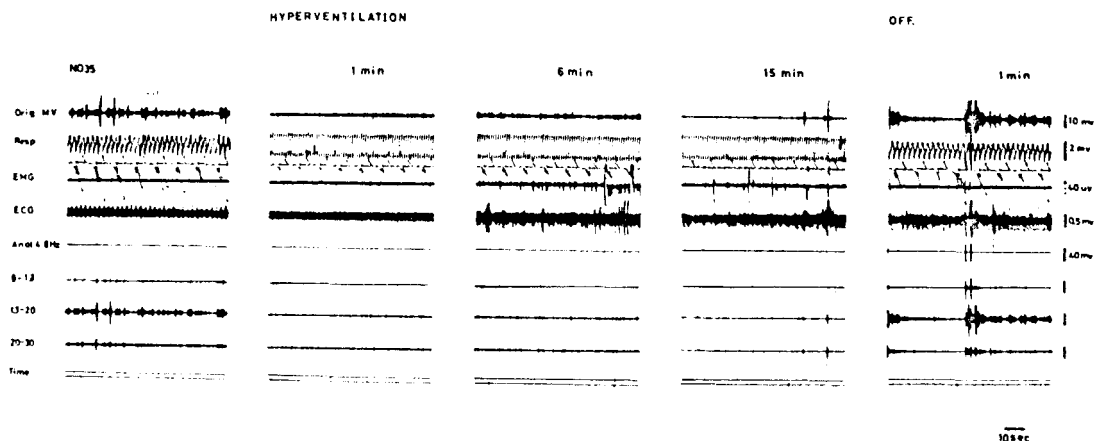
Time (min)	MV					Resp. rate (/min)	Heart rate (/min)
	2-4 Hz	4-8 Hz	8-13 Hz	13-20 Hz	20-30 Hz		
Control	-	4.5±0.1	22.7±3.1	32.7±4.2	30.5±2.7	50.1±5.1	201.2±10.1
1.5	-	11.1±3.1***	37.2±3.5***	48.6±4.2**	40.3±3.2***	74.2±5.6*	231.3±11.0*
8	-	9.2±4.1***	35.8±4.6***	46.1±4.5**	38.8±4.0***	50.3±5.7	201.4±10.3
13.5	-	5.9±1.1	24.5±2.1	34.8±3.1	29.2±1.3	50.2±5.1	201.2±10.1

* < 0.05 ** p < 0.01 *** p < 0.001 n = 5

B

Time (min)	MV					Resp. rate (/min)	Heart rate (/min)
	2-4 Hz	4-8 Hz	8-13 Hz	13-20 Hz	20-30 Hz		
Control	-	5.3±3.1	24.2±6.7	32.3±10.2	29.1±9.0	50.2± 4.7	186.2±12.3
4	-	1.0±0.5***	3.1±0.8***	4.9±0.3**	3.4±0.8***	58.3±14.0	144.4±20.6*
12	-	-	-	-	-	39.3± 4.1	168.5±13.7
16	-	-	-	-	-	34.2± 1.2*	168.0±13.2
35	-	-	-	-	-	37.3± 1.7	176.2±10.3
43	-	2.2±1.1**	14.7±2.1	20.7±2.5	13.3±3.1**	39.0± 8.1	180.1±17.0
87	-	4.7±4.1	22.5±8.3	32.0±6.3	27.8±9.0	49.1± 5.5	180.9±18.1

* p < 0.05 ** p < 0.01 *** p < 0.001 n = 5



圖五 過度換氣前後 MV 之變化。

Hyperventilation 1、6、15 min: 給予過度換氣後。 OFF. 1min: 過度換氣停止後一分鐘。

表五 過度換氣前後 MV 之變化

Time (min)	MV					Heart rate (/min)
	2-4 Hz	4-8 Hz	8-13 Hz	13-20 Hz	20-30 Hz	
Control	-	-	8.0±3.0	24.9± 9.6	9.3±3.1	192.0±7.2
1	-	-	2.1±0.5***	8.2± 1.0***	3.2±0.6***	192.1±8.1
2	-	-	-	-	-	186.1±5.1
5	-	-	-	-	-	165.1±5.2**
10	-	-	-	-	-	150.1±6.9***
13	-	-	-	-	-	144.2±5.0***
15	-	-	-	-	-	135.0±5.1***
17.5	-	-	-	-	-	150.1±4.7***
20	-	-	-	-	-	150.2±6.9***
21	-	-	-	-	-	150.1±8.1***
off						
1	-	-	7.3±3.7	32.2±13.5	10.9±4.4	165.1±8.0**
2	-	-	8.1±1.1	24.1± 3.6	9.0±4.0	187.3±7.1

*** p<0.001 n=3

表六 過度換氣時其血液 pH、Pco₂、Po₂ 之變化

Time (min)	Blood		
	PH	Pco ₂ (mmHg)	Po ₂ (mmHg)
0	7.146±0.001	25.41± 0.22	110.60±3.11
5	7.272±0.021	15.62± 2.40	122.12±3.10
10	7.282±0.010	10.71±10.41	129.32±3.48
13	7.314±0.013	8.90± 2.11	134.63±5.02
15	7.337±0.023	8.53± 2.50	138.81±2.41
17.5	7.441±0.017	8.09± 2.38	145.12±3.02
21	7.483±0.019	7.62± 0.66	154.56±6.07

Regression :

Y=0.02x+7.15 Y=-0.81x+21.58 Y=1.99x+110.35
 F=57.05** F=25.62** F=440.23***

** p<0.01 *** p<0.001

、表五) 血中 pH、 P_{CO_2} 、 P_{O_2} 在過度換氣開始 5 分鐘後，分析出 P_{O_2} 及 pH 快速地增加，而 P_{CO_2} 快速地減少(表六)，此外心跳也有減少且漸趨不規則之現象。

討 論

對照組所得之 MV，經過變方之分析，發現連續 1 小時內五種之 MV，均無顯著變化。

由於麻醉藥對於一般之實驗均有影響，依 Sugano⁵⁰ 之研究，數種中樞神經抑制劑(如 hexobarbital, thiopental sodium, urethane, morphine 及 chlorpromazine)和促進劑(aminocordin, pentylenetetrazol, strychnine)對 MV 之影響，發現這些中樞神經興奮劑中除了 strychnine 以外，均增加 MV 之振幅和頻率，反之這些中樞神經抑制劑，除 morphine 以外，其它均降低 MV 之振幅及減少頻率，故 Sugano⁵¹ 認為高級神經中樞之生理狀況可能與 MV 有密切關係。

麻醉藥有抑制中樞神經系作用，對於 MV 也有抑制作用⁵¹，且使體溫下降³²，本實驗以輕度麻醉家兔，pentobarbital sodium 係長時間性麻醉藥，可維持同一條件下 7 小時，然後動物便覺醒，因此每次實驗在 4 小時內完成，此為了避免麻醉程度之不同而影響實驗結果。

動物在體溫改變之下之生理變異極為複雜，其中肺臟的通氣量⁴⁹，心臟的輸血量^{9,49}，體內酸鹼平衡之調節^{5,18,23,56}，以及血紅素帶氧能力之變異^{9,47}等，與呼吸有關之各種現象，均受體溫改變之影響，而引起生理之變異。

當體溫下降 1~2°C 時，MV 增大，繼續下降 2~3°C 以後，MV 反而較下降 1°C 時為小，但肌電圖變大，即體溫愈降低，MV 反隨之變愈小，此是因為體溫完全由神經回饋機制控制的，而此機轉是由於在下視丘體溫調節中樞之溫度感受器來操作^{1,2,3,14,17,30,36,38,53}。當下降至 1~2°C 時，因為下視丘之溫度感受器興奮，使得骨骼肌收縮，產生顫慄，產生能量，以圖溫度之恒定^{2,10,20,28,29,30,34,40,46,48}，心跳率、呼吸率增加⁴⁹，此時 MV 增大。此實驗中肌電圖與 MV 混合出現，因此 MV 顯得變大。當外界環境溫度繼續下降 5°C 時，雖然肌電圖變更大，但顯然地 MV 變小，這將表示 MV 與造成顫慄之機制是不同來源。即如果體溫繼續下降，則身體無法再保持溫度之恒定，所以自體溫下降以後，呼吸率、心跳率降低^{22,24,26,27}，心輸出量減少²⁶，各種能量利用之化學率降低²⁶，代謝率降低^{9,10,16,19,22,24,26,27,32,43,45,47,48,49}，這可能影響 MV 變小。

由本實驗之結果顯示，體溫下降時，因呼吸率之減少，引起總通氣量降低，使血液中之 P_{CO_2} 增加^{5,18,47,56}，而 P_{CO_2} 之增加又導致血液 pH 值之下降^{44,54}，也使得血液氧和血紅素之解離容易，使得血液內 P_{O_2} 降低^{5,9,16,18,47,56}，如此細胞代謝降低，以致細胞活性降低，MV 變小。

pyrogen 是由有毒性之細菌分泌之脂肪多醣類毒素^{4,6,7,8,13,26,44}，或由身體退化組織所釋放之物質²⁶，pyrogen 對於 prostaglandin synthetase 具有活性¹¹，使 prostaglandins 增加，而此物質可使體溫上升^{4,6,7,8,15,44}，致使心跳率、呼吸率及代謝率增加^{1,6,7,15,28}，引

起 MV 增大。當動物接受 pyrogen，使體溫上升至某一程度，不再上升後，在自然情況下，pyrogen 被 reticuloendothelial system 之作用而從循環系中移開，另外 prostaglandins 亦被肝中之 prostaglandin 15-dehydrogenase 所破壞¹¹，故體溫才慢慢回復。若動物給予 pyrogen，使體溫上升至最高而不再上升，經 30 分鐘後給予 sulpyrin，此是一種 prostaglandin synthetase 之抑制劑¹¹，則體溫便開始下降。

注射 adrenalin，結果 MV 變大，此因為 adrenalin 使血管收縮，使心跳率增加，心輸出量增加，升高血糖濃度和溫度^{15,21} 增大 MV 之振幅。

注射 acetylcholine，結果 MV 變小，此因為 acetylcholine 使心跳減慢，呼吸頻率減少²¹，新陳代謝減小，故降低 MV 之振幅⁴¹。

由於體溫下降時引起過少換氣 (hypoventilation)， P_{CO_2} 增加， P_{O_2} 減少，pH 減少，而這是否影響 MV，因此使用人工呼吸儀，給予過度換氣 (hyperventilation)，使血中 P_{CO_2} 急遽下降，pH 值大大增加，MV 更趨於急速變小，此因為血液中 P_{CO_2} 快速的下降，引起呼吸性鹼中毒 (respiratory alkalosis)²⁵ 所致。

由於以上各種實驗結果，顯示 MV 之產生，除了受體溫之升降、血液成分之改變外，呼吸作用也會影響 MV 之產生。然而血液、體溫、呼吸三者之間，有直接或間接之相互干擾，致使 MV 之產生更複雜化。

結 論

當體溫下降時，心跳率減少，呼吸

率減少，MV 變小。如果使體溫升高時，心跳率增加，呼吸率增加時，MV 變大，反之 MV 變小。

注射 adrenalin 時，心跳率增加，MV 變大。而注射 acetylcholine 時，心跳率減少，MV 變小。這將表示新陳代謝及體內各種酶之作用與 MV 有關。

給予過度換氣，使 P_{CO_2} 減少， P_{O_2} 增加，pH 增加，亦即使 MV 變小。

參考文獻

1. Andersson, B., R. Granit and S. Larson (1956) Central control of heat loss mechanisms in the goat. Acta Physiol. Scand., 37 : 261-280.
2. Andersson, B. and B. Larson (1961) Influence of local temperature changes in the preoptic area and rostral hypothalamus on the regulation of food and water intake. Acta Physiol. Scand., 52 : 75-89.
3. Andersson, B. and N. Persson (1957) Pronocenced hypothermia elicited by prolonged stimulation of the heat loss center in unanesthetized goats. Acta Physiol. Scand., 41 : 277-282.
4. Atkins, E., F. Allison., M. R. Smith and W. B. Wood, Jr. (1955) Studies on the antipyretic action of cortisone in pyrogen-induced fever. J.

- Exptl. Med., 101:353-366.
5. Axelrod, E. R. and D. E. Bass (1956) Electrolytes and acid-base balance in hypothermia. *Am. J. Physiol.*, 186: 31-34.
 6. Bennett, I. L. Jr. and P. B. Beeson (1950) The properties and biologic effects of bacterial pyrogens. *Medicine*, 29: 365-400.
 7. Bennett, I. L. Jr. and P. B. Beeson (1953) Studies on the pathogenesis of fever. I. The effect of injection of extracts and suspensions of uninfected rabbit tissues upon the body temperature of normal rabbits. *J. Exptl. Med.*, 98: 477-491.
 8. Bennett, I. L. Jr. and P. B. Beeson (1953) Studies on the pathogenesis of fever. III. Characterization of fever-producing substances from polymorphonuclear leukocytes and from the fluid of sterile exudates. *J. Exptl. Med.*, 98: 493-508.
 9. Bigelow, W. G., W. K. Lindsay and W. F. Greenwood (1950) Hypothermia, its possible role in cardiac surgery, investigation of factors governing survival in dogs at low body temperature. *Ann. Surg.*, 132: 849-866.
 10. Bigelow, W. G., W. K. Lindsay, R. C. Harrison., R. A. Gordon and W. F. Greenwood (1950) Oxygen transport and utilization in dog at low body temperatures. *Am. J. Physiol.*, 160: 125-137.
 11. Bowman, W. C. and M. J. Rand (1980) Body temperature. in "Textbook of pharmacology" Blackwell Scientific Publications, London.
 12. Brumlik, J. (1962) On the nature of normal tremor. *Neurol.*, 12: 159-179.
 13. Buskirk, C. V. et al (1962) Physiologic tremor. *Neurol.*, 12: 361-370.
 14. Cabanac, M., J. A. J. Stolwijk and J. D. Hardy (1968) Effect of temperature and pyrogens on singleunit activity in the rabbit's brain stem. *J. Appl. Physiol.*, 24: 645-652.
 15. Chambers, W. W., H. Koenig, and W. F. Windle (1949) Site of action in the central nervous system of a bacterial pyrogen. *Am. J. Physiol.*, 159: 209-216.
 16. Chiang, S. T., C. F. Shaw., S. Y. Lin R. Yang (1975) Status of blood acid-base at low temperature in dogs. *Environment Biology*, 25: 155-162.

17. Clark, G., H. W. Magoun and S. W. Ranson (1939) Hypothalamic regulation of body temperature. *J. J. Neurophysiol.*, 2 : 61-80.
18. Cranston, W. I., C. P. Margot and D. N. Ross (1955) Carbon dioxide and control of respiration during hypothermia. *J. Physiol.*, 127:380-389.
19. Dill, D. B. and W. H. Forbes (1941) Respiratory and metabolic effects of hypothermia. *Am. J. Physiol.*, 132 : 685-697.
20. Euler, C. V. and U. Soderberg (1975) The influence of hypothalamic thermoceptive structures on the electroencephalogram and gamma motor activity. *Electroencephalog. Clin. Neurophysiol.*, 9 : 391-408.
21. Eyzaguirre, C. (1980) Autonomic nervous system in "Neurophysiology". Year Book Medical Publishers Inc.
22. Fairfield, J. (1984) Effects of cold on infant rats: body temperatures, oxygen consumption, electrocardiograms. *Am. J. Physiol.*, 155 : 355-365.
23. Fleming, R. (1954) Acid-base balance of the blood in dogs at reduced body temperature. *Arch. Surg.*, 68 : 145-152.
24. Gösselin, R. E. (1949) Acute hypothermia in guinea pigs. *Am. J. Physiol.* 157 : 103-115.
25. Gotoh, F., J. S. Meyer and Y. Takagi (1965) Cerebral effects of hyperventilation in man. *Arch. Neurol.*, 12 : 410-423.
26. Guyton, A. C. (1976) Regulation of body temperature. in "Textbook of Medical Physiology" W. B. Saunders Company, London.
27. Hamilton, J. B., M. Dresbach and R. S. Aamilton (1973) *Am. J. Physiol.*, 118 : 71-76.
28. Hardy, J. D. (1961) Physiology of temperature regulation. *Physiol. Rev.*, 41:521-606.
29. Hemingway, A. (1963) Shivering. *Physiol. Rev.*, 43:397-422.
30. Hemingway, A., P. Forgrave and L. Birzis (1954) Shivering suppression by hypothalamic stimulation. *J. Neurophysiol.*, 17:375-386.
31. Hemingway, A. and C. W. Lillehei (1950) Thermal cutaneous vasomotor response in dogs. *Am. J. Physiol.*,

- 169:301-307.
32. Hook, W. E. and R. T. Stormont (1941) Effect of lowered body temperature on heart rate, blood and electrocardiogram. *Am. J. Physiol.*, 133:334-335.
 33. Hunt, C. C. and S. W. Kuffer (1951) Further study of efferents small-nerve fibres to mammalian muscle spindles. *J. Physical.*, 113:283-297.
 34. Iampietro, P. F., J. A. Vaughan., R. F. Goldman., M. B. Kreider., F. Masucci and D. E. Bass (1960) Heat production from shivering. *J. Appl. Physiol.* 15:632-633.
 35. Ito, Y. (1962) Studies on the minor tremor. 4. Effects of brain stimulation on the minor tremor in rabbits. *Yonago Acta Med.*, 6:29-36.
 36. Magoun, H. W., F. Harrison., J. R. Brobeck and S. W. Ranson (1938) Activation of heat loss mechanisms by local heating of the brain. *J. Neurophysiol.*, 1:101-114.
 37. Marshall, J. and E. G. Walsh (1956) Physiological tremor. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 19:260-267.
 38. Murgatroyd, D., A. D. Keller and J. D. Hardy (1958) Warmth discrimination in the dog after hypothalamic ablation. *Am. J. Physiol.*, 195:276-284.
 39. Ohno, Y., T. Takeya., K. Kuroki and H. Sugano (1976) Microvibration and autonomic functions. *Journal of Psychosomatic Research*, 20:555-565.
 40. Osborn, J. J. (1953) Experimental Hypothermia: respiratory and blood pH changes in relation to cardiac function. *Am. J. Physiol.*, 175:389-398.
 41. Ozaki, T., K. Sato., T. Awazue., K. Mimura., N. Honda., S. Teramoto and K. Kitajima (1962) Some observations on minor tremors related to heart beat. *Jap. J. Physiol.*, 12:484-493.
 42. Ozaki, T., M. Yamamoto and K. Fuziwara (1965) On the relationships between minor tremor and ballistocardiogram in man. *Acta. Med. Nagasaki*, 9:120-134.
 43. Penrod, K. E. (1949) Oxygen consumption and cooling rates in immersion by hypothermia in the dog. *Am. J. Physiol.*, 157:436-443.
 44. Sakata, Y., A. Morimoto., Y. Takase and N. Murakami

- (1981) Direct effects of endogenous pyrogen on medullary temperature-responsive neurons in rabbits. *Jap. J. Physiol.*, 31 : 247-257.
45. Sellers, E. A., S. Reichman., N. Thomas and S. S. You (1951) Acclimatization to cold in rats metabolic rates. *Am. J. Physiol.*, 167 : 651-655.
46. Sellers, E. A., J. W. Scott and N. Thomas (1954) Electrical activity of skeletal muscle of normal and acclimatized rats on exposure to cold. *Am. J. Physiol.*, 177 : 372-376.
47. Severinghaus, J. W. (1958) Oxyhemoglobin dissociation curve correction for temperature and pH variation in human blood. *J. Appl. Physiol.*, 12 : 485-486.
48. Spurr, G. B., B. K. Hutt and S. M. Horvath (1954) Prolonged hypothermia in the dog. *Am. J. Physiol.*, 178 : 275-282.
49. Spurr, G. B., B. K. Hutt and S. M. Horvath (1954) Responses of dogs to hypothermia. *Am. J. Physiol.*, 179 : 139-145.
50. Sugano, H. (1957) Studies on the microvibration. *Kurume Med. J.*, 4 : 97-113.
51. Sugano, H. (1963) Central effects on minor tremor. *Jap. J. Physiol.*, 13 : 492-499.
52. Sugano, H. and K. Inanaga (1960) Studies on minor tremor. *Jap. J. Physiol.*, 10 : 246-257.
53. Takatani, O., M. Uechi and Y. Nakamura (1967) Electroencephalograms from neocortex and limbic system during temperature regulating responses of the rabbit. *Experimental Neurology*, 18 : 392-403.
54. Takeya, T., Y. Ohno., H. Matsubara., K. Yasuda., S. Watanabe., R. Shinzato., Y. Tanaka and S. Noda (1979) Physiological changes in the treatment of acrophobia (fear of height). *Clinical Otolaryngology*, 4 : 197-205.
55. Tanaka, K. and K. Kajitani (1960) Effects of anticonvulsants on the descending reticular function indicated by microvibration. *Yonago Acta Medica*, 4 : 157-160.
56. Volkert, W. A. and X. J. Musacchia (1970) Blood gases in hamsters during hypothermia by exposure to He-O₂ mixture and cold. *Am. J. Physiol.*, 219(4) : 919-922.

Animal Hypothermia and Microvibration

Jui—Hsiang Hsieh and Chin—Yih Wu

Abstract

Rabbits anesthetized with pentobarbital sodium were studied for microvibration (MV) in this report. The rectal temperature was lowered down 5°C by placing rabbit on the ice box, then recovered to normal temperature by removing the ice box. Microvibration (MV) was recorded from skin surface of the hind limb by means of MV pick up. Respiratory movement, EMG, ECG and the blood pH, Pco₂ and Po₂ were simultaneously recorded for each animal. In addition, the effects of hyperventilation were also observed in some rabbits. All of the MV were analyzed with frequency analyzer.

The following results were obtained :

1. In untreated condition, frequencies of 20-30 Hz were dominant, but in hypothermal condition, all of frequencies decreased their amplitudes significantly following by increasing except 2-4 Hz which has no change.
2. When the rectal temperature decreased 4-5°C, EMG appeared apparently, but MV, heart rate and respiratory frequency decreased.
3. At low body temperature, blood pH、Po₂ were also decreased, with the exception of Pco₂, which was increased. These changes were restored to the original level when its temperature became normal.
4. Under the hyperventilation, MV and blood Pco₂ were decreased rapidly, but pH and Pco₂ were increased.

In summary, there are close relationships between MV, body temperature, heart beat and respiratory movement.