

低体温下におけるラットの心電図、 呼吸の変化について

東京女子医科大学法医学教室 (主任 吉成京子教授)

藤原 弘・綱脇 元和
フジワラ ヒロシ ツナワキ モトカズ

(受付 昭和35年1月27日)

緒言

さきに著者は低圧負荷時における心電図 (ECG) および呼吸の変化について研究を行つたが、低圧負荷時のウサギの心電図、呼吸の変化¹⁾にも似たように酸素分圧の低下とともにとくにウサギにおいては呼吸促進が著しく、低炭酸症が同時に存在すると考えられる。酸素分圧の低下に対する作用をさらに詳細に検討するため体温を自由に低下せしめ、組織の酸素消費量を減少せしめて実験を続行するために今回はラットについて Andjusらの方法により²⁾人工冬眠状態を作り、この経過における ECG、呼吸の変化をしらべた。

実験材料および実験方法

体重 180~220 g の雄性成熟健康ラット (ウィスター系) を用い、飼育法は固型飼料により1ヶ月以上飼育したものを材料とした。

人工冬眠法はラット体重 100 g 当り 10% ウレタン溶液 1 cc を注射後容量約 2 l のガラス吸引瓶中に入れて充分に蓋をして 4°C の冷蔵庫中に入れ、各種リード線を引き出した。約 2 時間で体温は 26°C となり呼吸、心搏は停止する。この方法においては動物の寒冷によるふるえはほとんどみられない。

この状態において解剖して各臓器を病理標本の作製のために摘出した。

ECG は日本光電製の 2 素子 CAP メーターを用い標準四肢誘導をとつた。電極は魚針を用いた。呼吸は飽和硫酸亜鉛溶液をゴム管に封入し、両極に亜鉛棒を用いて、これをラットの剣状突起上にまきつけ呼吸によるゴム管の長さを抵抗値のホイートストン橋を用いて直流 2 段増幅を行つて記録した。

体温はフェローコンスタンタン熱電対を作り、直腸に挿入、氷水を対極として起電力を検流計により測定した。

実験成績

ウサギの低圧負荷とことなり、この例では炭酸ガス麻酔により寒冷のふるえを防止しているため低温とともに高炭酸症の影響が生じてきている。

A, ECG の変化

1) 脈搏数の変化

脈搏数の変化は図 1 に示す通りで、420~430 より直線的に減少してゆき 27~29°C で半数となり、20°C では 20% となり、15~16°C で心搏動が停止する。

2) P Q 間隔の変化

興奮伝導を示す P Q 間隔の変化は図 2 に示す通りで、次第に延長をきたしてくる。

24~25°C で伝導時間は 2 倍となり、心停止時には 4~5 倍に延長する。しかも 19~21°C 以下になると延長は著しくなる。

3) Q T 間隔の変化

心室収縮時間を示す Q T の変化は図 3 に示す通りで、ここに示す 2 例は著しく差のあるもので 1 例では直線的に増加してゆき、心停止時には 3 倍以上に延長するが、他の 1 例はほとんど差がなく、体温の低下しているにもかかわらず 21~23°C でかえつて Q T の短縮をきたしている。

4) R 波の変化

図 4 に示すように R 波は 1 時減少してそのまま 20°C まで一定を保ちその後急速に減少する。ま

Hiroshi FUJIWARA, Motokazu TSUNAWAKI (Department of Legal Medicine, Tokyo Women's Medical College) : On the changes of ECG and respiration of the rats under the influence of low body temperature.

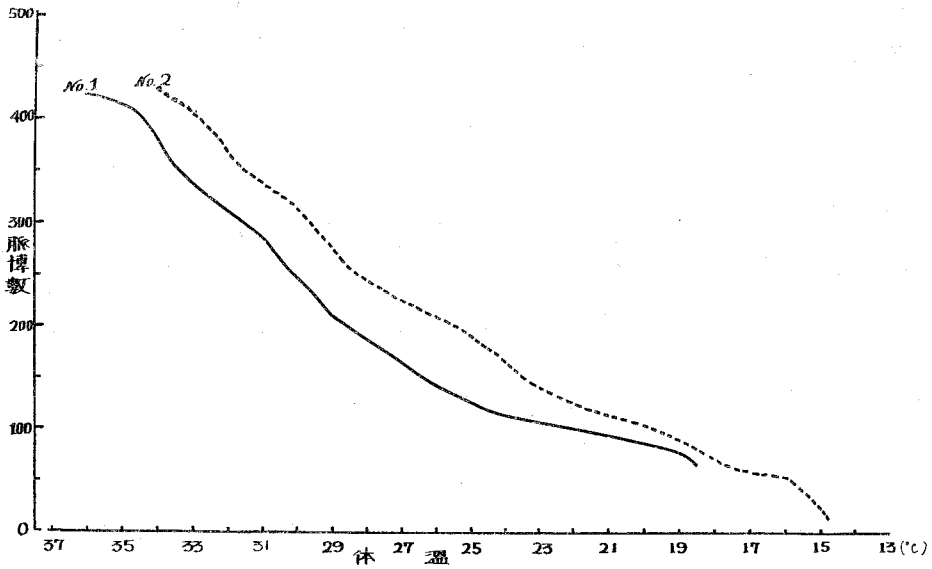


図1 脈搏数の変化 (No.1 体重 180 g (♂), No.2 体重 220 g (♂))

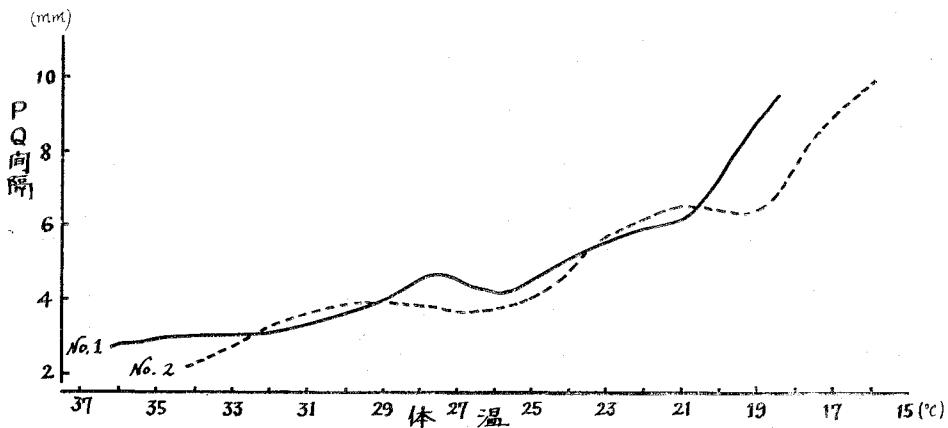


図2 P Q 間隔の変化

た1例では一度増加し同様に 19°Cまで一定に保ちその後急速に減少する。

すなわち 33°Cより 20°CまではR波の変動はほとんどないことが知られる。

5) S波の変化

図5にみる通り丁度QT間隔と反対にQTの増加のみられる例では反つてSは変化なく、QTの変化の少ないものではS波の増加が著しい。

6) T波の変化

図6でみる通りR波の変化と同様に 20°Cまではほとんど変化がないか、あるいは 29~25°Cでなだらかな山を作る。いずれにしても体温の降下とともに変化することは少ない。

7) ベクトルの変化

表1は 10分毎にとつたECGのI, III誘導より計算により算出したベクトル値および心軸で、両者ともその方向は全く別で1例では左方偏位を示し、水平軸の上方に行きついで水平軸にもどるが再び左方に偏位して行く、心停止時にはベクトルは全く逆方向に向い、心室内の刺戟発生がうかがわれる。他の1例では右方偏位をとり、再びもとにもどつてくる。最大の軸変化は前者で約 50°, 後者では約 30°である。ベクトルはほとんど変化なく経過し 21°Cより急激に減少して行く、他の1例は次第に増加して行き 24°Cで減少しはじめる。

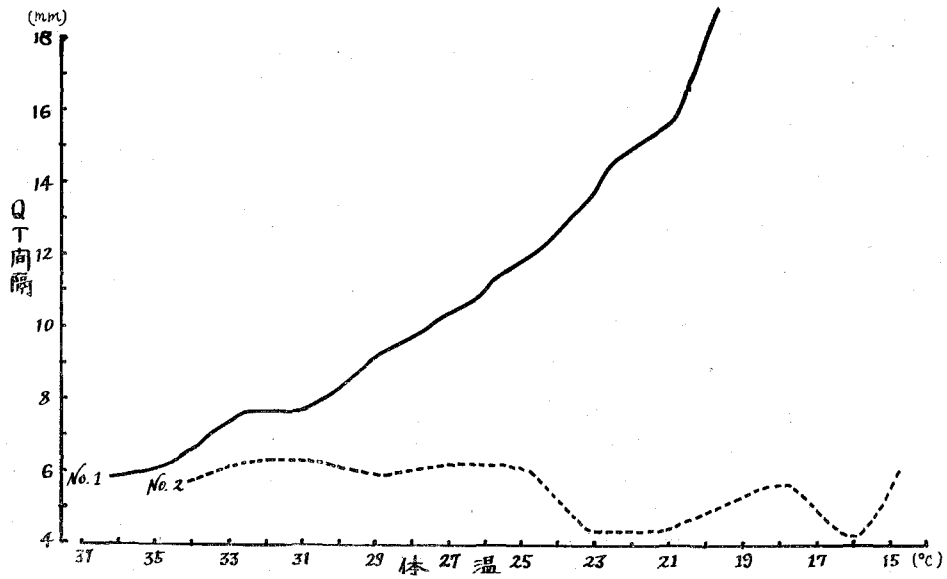


図3 Q T 間 隔 の 変 化

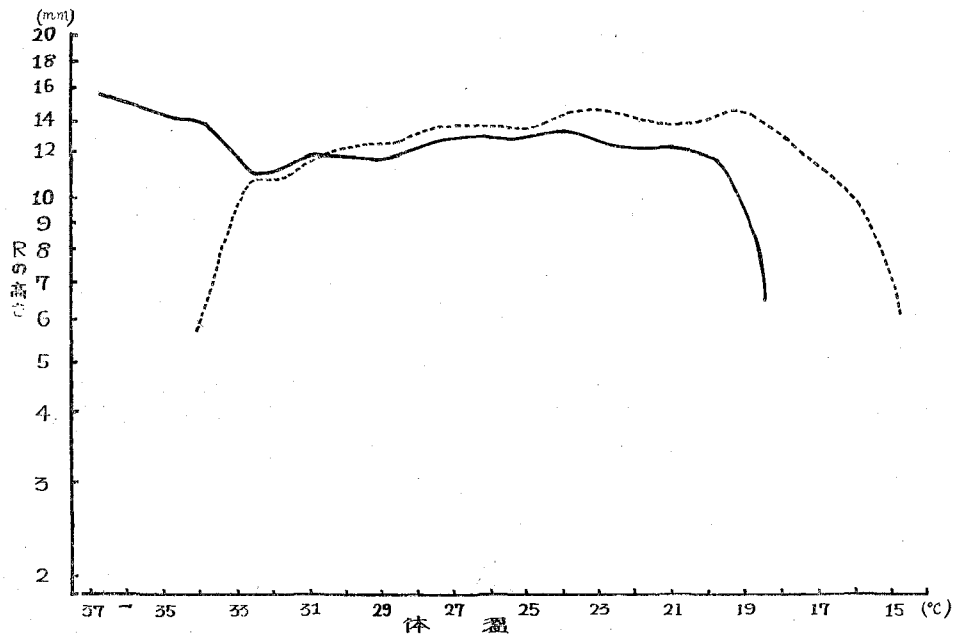


図4 R 波 の 変 化

8) ECGの型の変化

31°CでR波、T波は反つて上昇する(図7, B) さらに体温低下が進んで心搏停止に至るまでの変化は一様でないが温度の低下とともにP波はほとんど消失するが(図7, B) 25°Cで再び現われ、Pの二相化、PQの低下を示す、この時期にはT波に続く部分の陰性化すなわち陰性U波を思わせる波が生じてくる(図7, C, D)。23°Cで心搏

は不整となり時として期外収縮を生ずる。II III誘導のS波は増加し始め、Pは三角化し、陰性Pを生ずるに至る(図7, E)。16°C以下では房室分離を生じ、S波のつきにT波が直ちに立上るため、Osborne³⁾のいうSTの変化をとまらぬ injury current ははつきりとみることはできない。

B 呼吸の変化

1) 呼吸数の変化

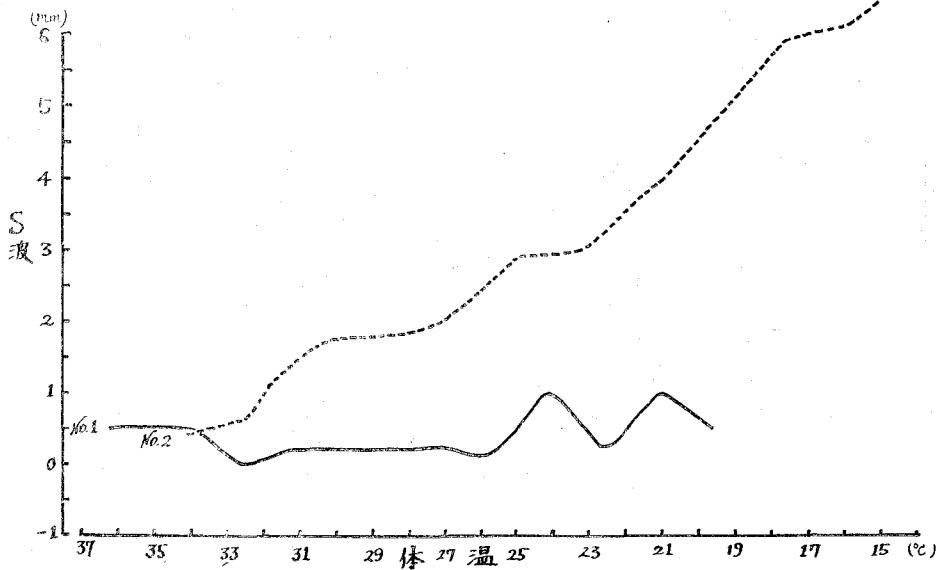


図5 S 波 の 変 化

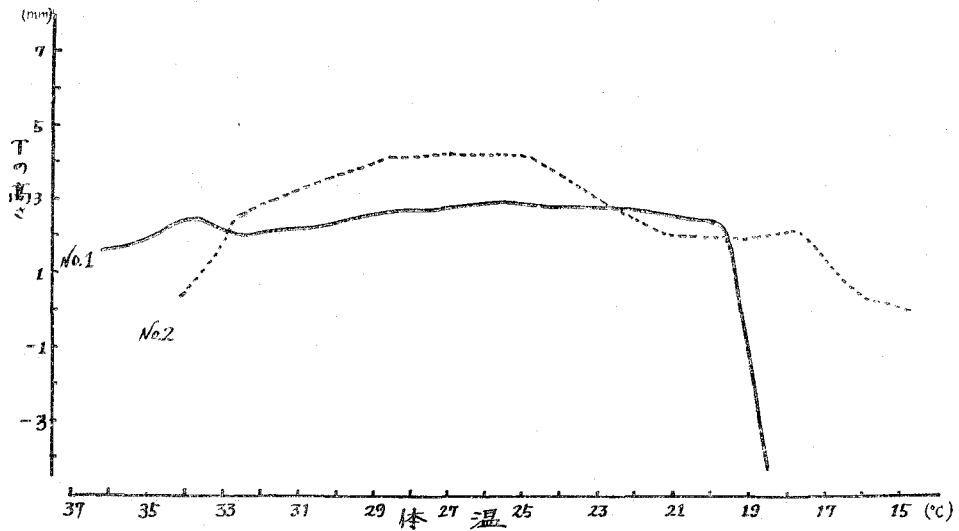


図6 T 波 の 変 化

実験開始後3～5分で呼吸数は一時増加し以後は次第に減少してくる。これは図8に示す通りで、実験方法の項でのべたように寒冷性ふるえを防止するために炭酸ガスの自家中毒を起さしめたために生じた変化とみられる。

2) 呼吸比の変化

呼吸曲線について吸気を1として呼気の長さを測定したもので図9でわかるように25°Cまでは比が少しく増加はするが著しくなくそれ以下の温度では急速に増加し、呼吸機能が急速に減退する

と思われる。

3) 相対分時呼吸量の変化

実験方法の項でのべたように呼吸曲線の高さは絶対呼吸量を表わしてはいないが、胸廓周囲の変化が絶対呼吸量にある程度比例した量と考え、呼吸曲線の高さに1分間の呼吸数を乗じ、相対分時呼吸量として示したものが図10である。呼吸数の変化でものべたように初期に若干の増加がみられるが以後次第に減少を示し16°Cでは呼吸停止に至る。

表1 ベクトルの変化

No. 1	時間 (分)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
	体温 (°C)	36.2	34.6	33.8	32.6	31.0	29.2	27.5	25.9	24.1	22.6	21.0	19.7	18.5
	ベクトル	194.6	169.2	177.8	161.4	185.7	191.4	220.5	232.0	235.5	227.6	215.8	206.7	84.0
	軸	39.°27'	35.°50'	41.°03'	48.°23'	51.°12'	53.°25'	56.°08'	56.°24'	57.°55'	65.°26'	57.°42'	57.°45'	36.°53'
No. 2	時間 (分)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
	体温 (°C)	34.1	32.6	31.8	30.3	28.6	27.0	24.8	23.2	21.1	19.2	17.7	16.0	14.8
	ベクトル	66.1	102.7	97.5	104.1	109.4	122.3	108.0	115.1	99.0	96.1	71.8	55.5	15.31
	軸	35.°13'	7.°08'	-5.°46'	-8.°39'	-14.°41'	-15.°20'	-0.°11'	-0.°12'	-0.°10'	-7.°58'	-31.°38'	-46.°45'	-113.°24'

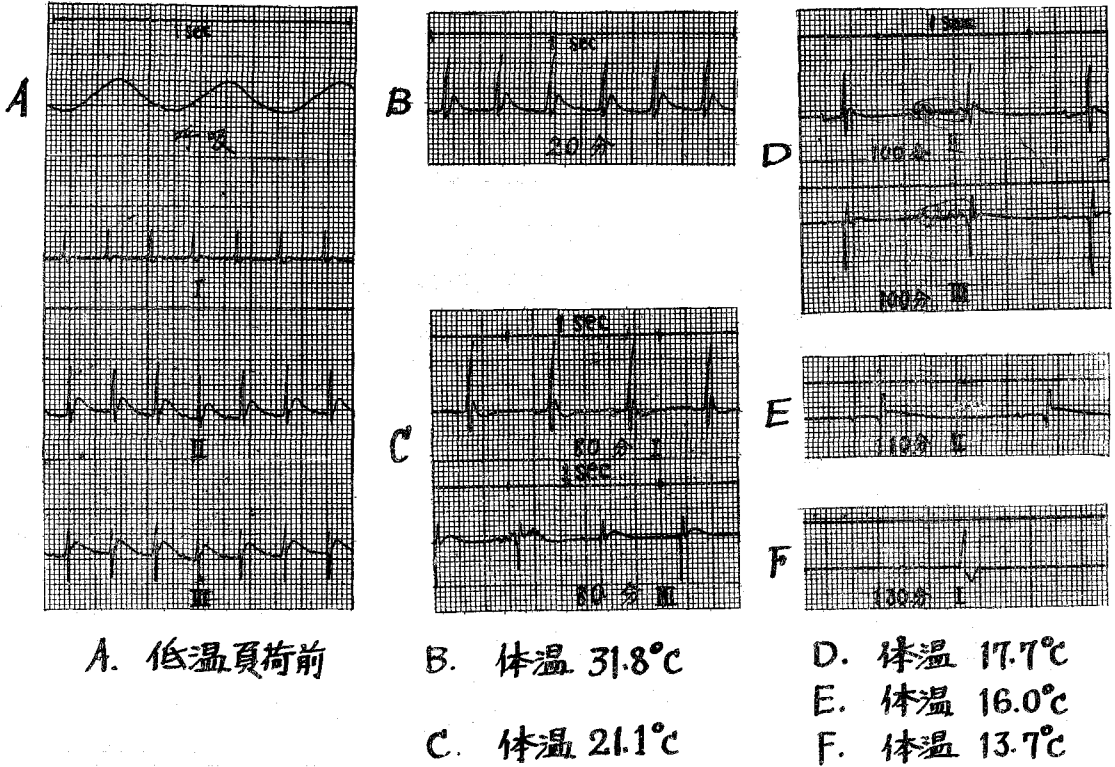


図7 E C G の 変 化

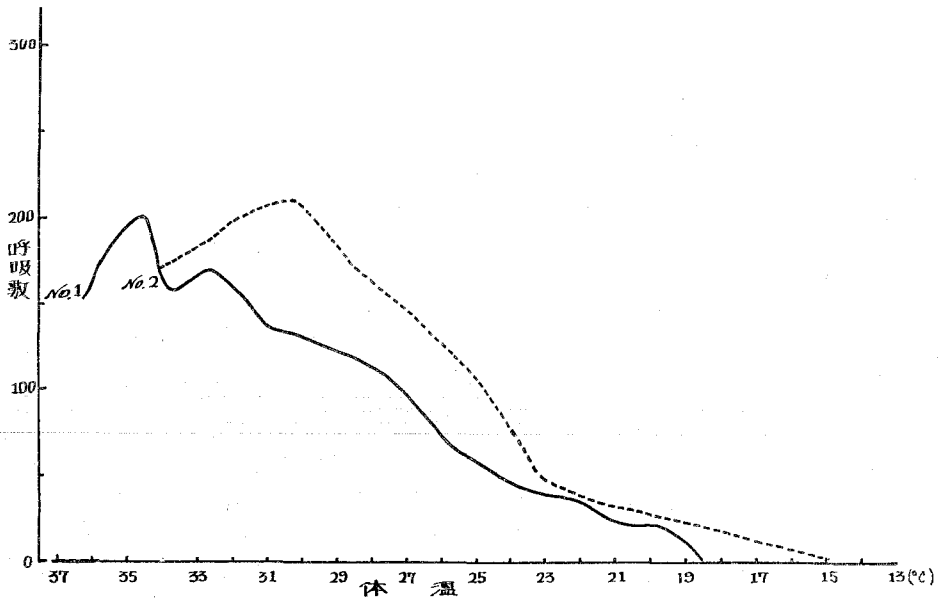


図8 呼 吸 数 の 変 化

考 按

最近心臓外科の発達とともに低温下の生理現象の研究は著しいものがある。とくにラットについては Adolph⁴⁾の仕事がある。

循環系については温度の低下とともに心の単位体重当りの分時搏出量は直線的に低下するが、各温度での酸素消費量をこの搏出量で除した値は低温においてもほとんど一定であるといわれ1回搏

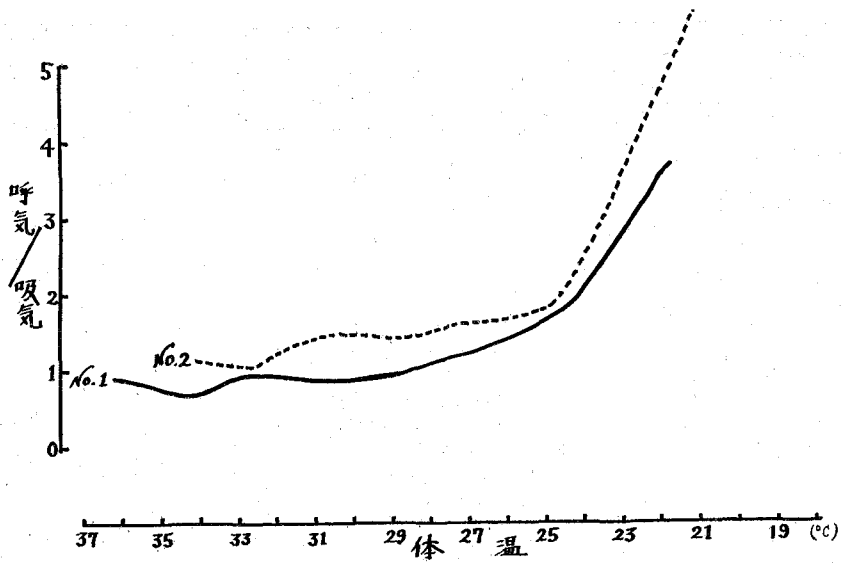


図9 呼吸比の変化

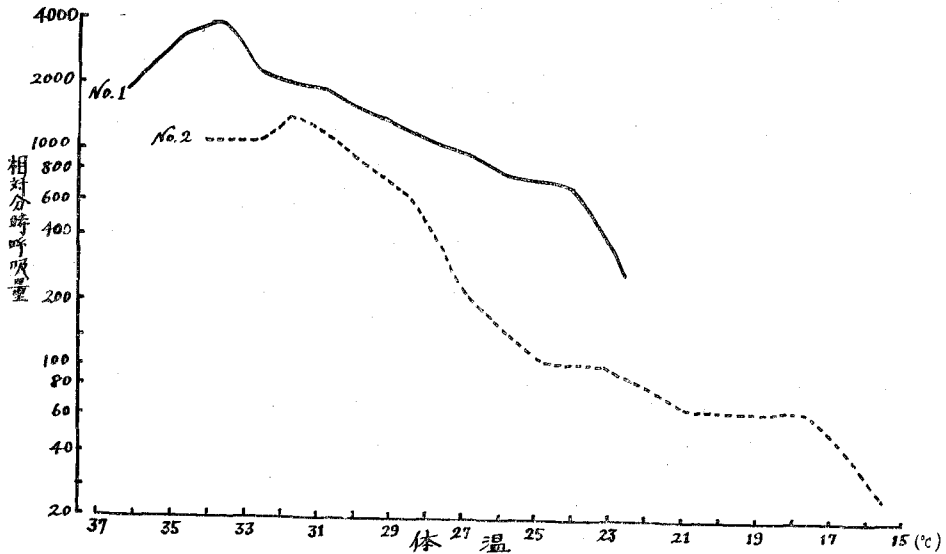


図10 相対分時呼吸量の変化

出量は 32~33°C より増加している。

さらに Brown & Hill⁵⁾によれば血液の酸素解離曲線は温度の低下とともに左方に偏位し、酸素飽和は有利となるが、しかし非常に低い組織分圧でなければ酸素を放出しない。一方組織の酸素消費量も非常に減少する⁶⁾。

このため Bigelow et al⁷⁾, Rosenhain & Penrod⁸⁾, Hegnauer⁹⁾によれば組織内での酸素負債は存在しないといわれる。我々の実験においても心室収縮を示すR波の変動は約 20°C 附近ま

でほとんど減少しないことがわかる。

QTは温度とともに減少して行くが¹⁰⁾我々の例では減少しない例もみられている。

しかしこれは伝導時間を示すPQでは温度の低下とともに減少するにもかかわらずQTが増加しない例のあるのは房室間伝導系の温度感受性の大きいためと思われる。

なおQTの増加しない例では丁度逆にS波の増加がみられる点については興味があるが詳細についてはなお研究の余地があると思われる。STの

変化については佐竹¹⁰⁾も犬について詳細にのべているが、ラットにおいてはSTの変化はそのECGの性質上、はつきりした像をみることができなかった。

STの変化に反し、本実験ではPQの低下が著明であり、同時にP波の上昇、二相性P、陰性Pとさらに陰性U波と思われる波の出現¹¹⁾(図7, C)から広範なる肺ウツ血および心筋の障害がこの時期すなわち体温25°Cから始まるものと考えられる。

ベクトルの変化についても一定の傾向はみられず右方および左方に偏するが、再びもとの位置に復してくる傾向がある。

心室性調律、房室分離の像はみられたが心室細動の像は本実験ではみられなかった。

呼吸については、初期に呼吸数の増加がみられるが、これは炭酸ガス濃度の増加によるものと考えられる。それ以後は次第に減少をきたし27~24°Cで埒となり、さらに24°Cで呼吸比が急速に増加することから25°Cぐらいから呼吸機能が急速に減退すると思われる。

要 約

ラットに人工冬眠を実施し体温下降時のECGおよび呼吸について検討し次の結果を得た。

1) ECGの結果では、体温下降と共に脈搏数は漸次減少した。QRS complexの持続時間には著明な変化はなかつた。RおよびTの振巾は体温19°C以下で著しく減少した。

2) 呼吸についての変化は、呼吸数は初期に、1時増加し以後漸減した。25°C以下においては呼気/吸気は増大した。相対分時呼吸量は初期に

やや増加し、体温29°C以下になるにおよび漸次減少した。16°Cで呼吸は停止した。

終りに臨み御指導御校閲を賜つれ吉成京子教授に深謝するとともに終始御指導と御便宜を賜つた航空自衛隊航空医学実験隊長1等空佐大島正光先生、低圧実験班3等空佐黒田勲先生に深謝いたします。

文 献

- 1) 藤原 弘：東京女子医大誌掲載予定(1960)
- 2) Andjus, R. K., Lovelock, J. E. and Smith, A. U.: The Physiology of Induced Hyperthermia. National Academy of Sciences-National Research Council, Washington, D.C. 125-145 (1956)
- 3) Osborn, J. J.: Am. J. Physiol. 175 389(1953)
- 4) Adolph, E. F.: The Physiology of Induced Hypothermia. National Academy of Sciences-National Research Council, Washinton, D. C. 44-49 (1956)
- 5) Brown W.E.L. and Hill, A. V.: Proc. Roy. Soc. London (B) 94 297-334 (1923)
- 6) Fuhrman, G. J. et al.: Am. J. Physiol. 163 642-647 (1950)
- 7) Bigelow, W. G. et al.: Am. J. Physiol. 160 125-137 (1950)
- 8) Rosenhain, F. R. and Penrod, K. E.: Am. J. Physiol. 166 55-61 (1951)
- 9) Hegnauer, A.H. and D'amato, H. E.: Am. J. Physiol. 178 138-142 (1954)
- 10) 佐竹 弘：呼吸と循環 72 1033~1053 (1959)
- 11) Sigler, L.H.: The Electrocardiogram. Second Edit. Grune & Stratton. New York. 45-46 (1957)