

## 熱産生機構の等尺性筋収縮筋電図の解析\*

### (Ⅱ) ヒトの筋疲労時の筋電図における群化放電 (grouping discharge) の解析

大 渡 伸, 染 岡 慎 一, 近 藤 正 行\*\*,  
藤 本 博 一\*\*\*, 土 屋 勝 彦, 小 坂 光 男

長崎大学熱帯医学研究所疫学部門 (環境生理学)

EMG Pattern Analysis of Isometric Muscular Contraction in Thermoregulatory Heat Production\*

(Ⅱ) Analysis of grouping discharge in EMG during fatigue of maintained voluntary muscle contraction in man

Nobu OHWATARI, Shinichi SOMEOKA, Masayuki KONDO\*\*, Hirokazu FUJIMOTO\*\*\*, Katsuhiko TSUCHIYA, and Mitsuo KOSAKA, (Department of Epidemiology and Environmental Physiology, Institute for Tropical Medicine, Nagasaki University)

**Abstract:** In an environmental control chamber (temperature: 25°C and humidity: 65%), six healthy human volunteers aged 22-33 years were examined by computer analysis of EMG patterns of dominant biceps brachii muscle during fatiguing voluntary isometric contraction against a constant load. Fatiguing EMG activities of unilateral biceps brachii were recorded during 25 and 40% maximum contraction value (25 and 40% MCV) using fine needle electrodes. Grouping discharge in EMG patterns evoked by cold shivering was identically observed in electrical activity during fatiguing voluntary isometric contraction of human muscles. Following properties such as the interval of consecutive two pulses, mean frequency, mean duration, mean occurrence rate, and pulse numbers of grouping discharge in fatiguing EMG patterns were analyzed by Cluster analysis and Factor analysis using an analogue computer ATAC 450 and personal computer PC-8001. The range of interval of consecutive two pulses of grouping discharge in EMG of cold shivering as well as of isometric muscular contraction was conclusively less than about 20 msec. Mean frequency, duration, and occurrence rate of grouping discharge in EMG patterns during middle stage of muscular fatigue were about 10.0 c/s, 140.0msec, and 85.5%, respectively. Pulse numbers participated in a certain group of consecutive grouping discharge

---

Received for publication, September 20, 1981

\*A portion of this experiment supported by a Scientific Research Grant (No. 548108) from the Ministry of Education, Japan.

\*\*長崎大学医学部整形外科教室

\*\*\*長崎大学学生

長崎大学熱帯医学研究所業績, 第1,112号

increased in progress of muscular fatigue and eventually approximated to 36.0 in middle stage of muscular fatigue. These results indicate that various properties observed in grouping discharge of EMG activities evoked by cold shivering and isometric muscular contraction are identical and that rhythm of grouping discharge in their EMG patterns originate in the areas of the motoneuron pools of the spinal cord. Further thermoregulatory significance of grouping discharge during cold shivering and muscular fatigue was discussed in this paper. Tropical Medicine 23(3), 169-176, September, 1981.

## ＜は じ め に＞

筋収縮による体熱産生機構の一つである寒冷ふるえ (cold shivering) は寒冷刺激で誘発され、ふるえの筋活動パターンは不随意的等尺性筋収縮、またその生理的意義は体温調節である点で随意運動とは区別が可能である<sup>15)</sup>。等尺性筋収縮の筋電図パターンが群化放電 grouping discharge (GD) によって特徴づけられるとの報告<sup>8)9)12)13)18)21)27-29)</sup>は多く、寒冷ふるえの同定に GD を指標として分析する試み<sup>8-13)18)21)27-29)</sup>は体温調節研究上で意義<sup>10)12-14)18)21-23)</sup>があり、今日では医用電子工学の進歩によってふるえの発現様式や発現の閾値温度などの解析<sup>1)2)12-14)18)21)</sup>が容易となった<sup>15)</sup>。先に我々は正常ウサギの寒冷ふるえの筋電図上の GD の平均周波数および GD の平均持続時間をデータ処理システムにて解析した結果<sup>18)</sup>、従来の目測計算による報告結果<sup>8)10)12)13)21)</sup>と有意差のない事を報告した。一方、ふるえ筋電図上に出現する GD は筋の疲労状態の筋電図にも出現すると報告されている<sup>5)9)17)25)26)</sup>。

我々は先の研究でこの筋疲労時の EMG を Cluster 分析<sup>3)4)19)</sup>および因子分析<sup>3)7)</sup>したが、その結果 GD 形成のインターバルは 17msec ~ 24msec が適当値であり、従来の研究過程および結果が妥当である事を立証した<sup>9)</sup>。この結果をふまえて、今回は GD 形成のインターバルを、個人差を考慮しておよそ 20 msec 以下と設定し、ヒトの筋疲労時の筋電図における GD をデータ処理システムを用いて詳細に解析し、等尺性筋収縮の体温調節上の意義について考察を加える。

## ＜方 法＞

Ⅰ. 被験者: 先の論文<sup>9)</sup>に発表したと同一被験者 6 名、健康・成人男子 (年齢: 22~33 才、体重 54~

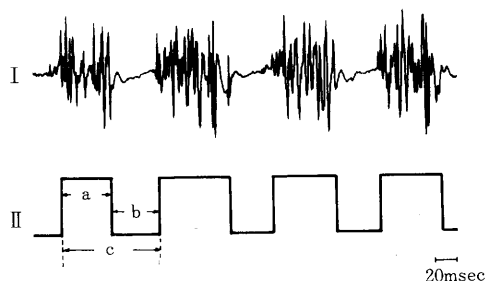


Fig. 1. Typical recording of grouping discharge in EMG (I) and its modified diagram (II).

- a: Duration time of GD
- b: Interval time of groups ( $\triangleright$  about 20msec)
- c: wave-length of GD  
Frequency of GD =  $1/c$

72kg).

Ⅱ. 実験方法: 室温 25°C、湿度 65% の環境条件下で、被験者を机に正対させ、机の面に対し、上腕骨軸が 45°, 更に肘を 90° 屈曲させた状態をとらせ、前腕軸に対し 90° 方向へ一定負荷を加え、上腕二頭筋の等尺性収縮を行った<sup>9)</sup>。各人の上腕二頭筋の最大収縮力を測定し、その 25% 及び 40% の負荷<sup>9)</sup>を加え、肘を 90° に保持できなくなった時点を実験終了とした。

Ⅲ. 反応指標: 双極針電極を優位側の上腕二頭筋へ刺入し、筋電図を記録した。この筋電図波形をシンクロスコープで観察すると共に、データ処理システム ATAC-450 (日本光電工業 K.K.)、及びパーソナルコンピュータ PC-8001 (日本電気 K.K.) で分析する目的でデータ・レコーダへ収録した。

Ⅳ. 分析方法: データ・レコーダに収録された筋電図を ATAC-450 へ入力し、分解能 10μsec の精度で連続する筋放電パルスの間隔を測定した。この筋放電パルス間隔が、一定値 (GD の条件設定値)

以上の場合はこの連続する筋放電パルスが群化していないと仮定した。このGDの条件設定値を決定するために多変量解析の一つである Cluster 分析及び因子分析を用いた。Fig. 1は、GDの分析の模式図である。Ⅰは、筋電図にみられるGDの実記録を示し、Ⅱは、この筋電図パターンをパルス波形化した図である。aは、筋放電パルスが群化している持続時間を示す。bは、群化している group 間の間隔時間で、この最小値がGDの条件設定値、cは、GDの1波長を示す。本実験では各々の group の1波長の逆数をGDの周波数とした。因みに、 $a/c$ は、GDの発生率を示すものである。

### < 結 果 >

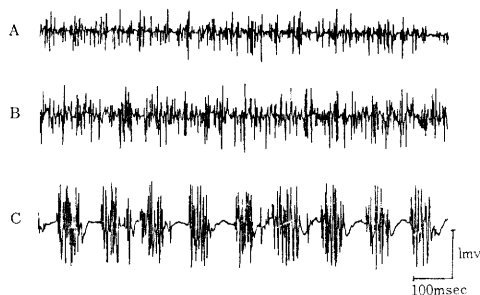


Fig. 2. EMG pattern changes during muscular fatigue.

- A: Initial stage of fatigue
- B: Middle stage of fatigue
- C: Terminal stage of fatigue

Fig. 2 は、等尺性収縮負荷による、筋疲労の亢進過程で観察・記録された筋電図波形の変化を表わす。負荷実験開始より、Aは1分後（疲労初期）、Bは3分後（疲労中期）、Cは5分後（疲労極期）の筋電図波形である。筋疲労の初期の筋電図上に出現する電位活動は、低振幅で持続性の緊張性放電である。筋疲労が亢進するにつれて、低振幅の持続性放電の中に高振幅の速動性放電が出現・混入し、更に筋疲労が極期に達すると、高振幅の速動性放電が群化しており、このGD発現の様式は寒冷刺激によって誘発される cold shivering の筋電図パターンにみるGDの発現様式と酷似である<sup>2)9)10)12)15)18)24)</sup>。

Fig. 3 は、Fig. 2 に示した疲労中期の筋電図パターンの掃引速度をB-1は146mm/sec、B-2は293

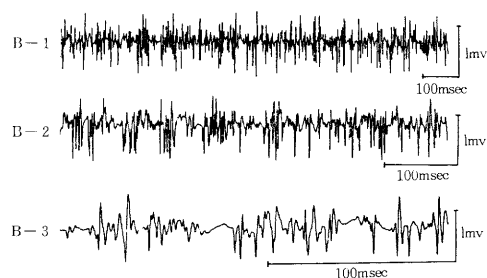


Fig. 3. EMG patterns during middle stage of muscular fatigue at various sweep speed.

mm/sec、B-3は732mm/secと段階的に変化した結果である。この図ではB-1の掃引速度は、Fig. 2 Bの掃引時間と等しく、B-1の筋電図波形からは、群化している事が視覚的に判別不能であるが、B-3の筋電図波形では、群化の状況が判別可能になる。

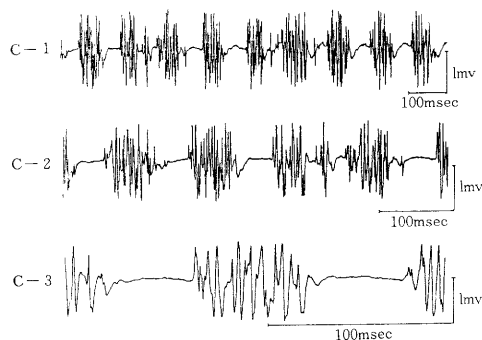


Fig. 4. EMG patterns during terminal stage of muscular fatigue at various sweep speed.

Fig. 4 は、Fig. 2 に示した疲労極期の筋電図波形について、掃引速度を変化させて得られた記録である。C-1とFig. 2 Cの掃引速度は等しく、146mm/secである。C-2の掃引速度は293mm/secで、C-3は732mm/secである。Fig. 4は典型的なGDパターンを示しており、特にC-3の筋電図波形からは群化している筋放電パルスの数、及びGDの持続時間が測定可能である。6名の被験者について等尺性筋収縮負荷による不随意的筋ふるえ時の筋電図にGDが観測された。6名中5名の被験者より得られた筋電図記録は、Cluster分析によるdendrogramからGDの条件設定値を判定すること

Table 1. Minimum interval of consecutive two groups and its mean frequency of grouping discharge in EMG patterns during muscular fatigue induced by 25% MCV (upper the table) and 40% MCV (under the table) of constant load

Subjects	Interval of groups (msec)	Frequency of GD, Mean $\pm$ SD (cycle/sec)
1	17	10.5 $\pm$ 5.6
2	20	12.8 $\pm$ 7.1
3	20	13.1 $\pm$ 7.7
4	21	12.8 $\pm$ 7.8
5	22	12.1 $\pm$ 6.5
6	24	12.3 $\pm$ 5.5
20.7 $\pm$ 2.1		12.8 $\pm$ 5.6
25% maximum contraction value		
Subjects	Interval of groups (msec)	Frequency of GD, Mean $\pm$ SD (cycle/sec)
2	20	10.7 $\pm$ 5.0
3	20	11.3 $\pm$ 4.8
5	22	10.5 $\pm$ 6.5
		10.8 $\pm$ 6.2
40% maximum contraction value		

が可能であった。他の 1 名の筋電図波形を、Cluster 分析した結果からは、GD の条件設定値は判定し得ず、因子分析を用い、寄与率の最も高い因子をもとに、GD の条件設定値を定めた。

Table 1 には上述の分析結果から求められた GD の条件設定値と、この値を用いて周波数分析した結果を示す。表の上欄は上腕二頭筋の最大随意収縮力の 25% を負荷量として加えた場合の実験結果で、表の下欄には上腕二頭筋の最大随意収縮力の 40% を負荷量として加えた場合の結果である。GD の条件設定値の平均値は 20.7 msec で小坂等の報告<sup>10-14)</sup>と一致するものであった<sup>9)18)</sup>。実験開始より終了までの全実験過程の筋電図の GD について周波数分析した結果、GD の周波数に関しては 25% 負荷時と 40% 負荷時では、夫々 12.8 c/s, 10.8 c/s と差異を示しているが統計学的に有意の差ではなかった。Fig. 5 は、最大随意筋収縮の 25% 及び 40% の負荷を加えた時の GD の周波数分析結果を、括めて一つのヒストグラムに示している。縦軸は、測定された GD 数で、横軸は GD の周波数を示す。平均周波数は 11.8

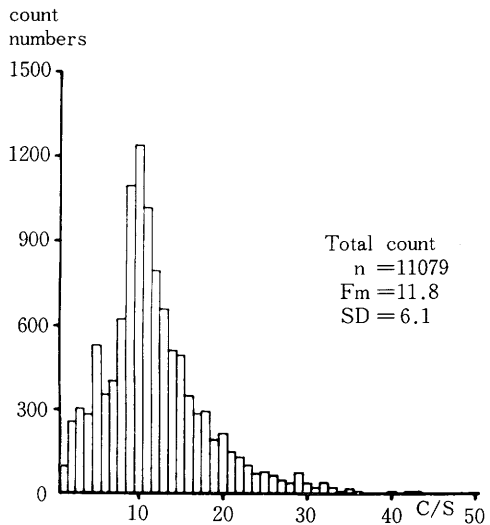


Fig. 5. Histogram of frequency of grouping discharge of dominant biceps brachii during isometric contraction.

c/s であるが、モードは 10.0 c/s に位置する。

以上に示した結果は、実験の全過程で得られた筋電図波形について分析した結果であるが、Table 2 には、実験開始より 1 分毎に、測定された筋電図波形を分画・解析した結果を示す。解析項目は、GD の周波数、group を構成している筋放電パルスの数、GD の持続時間及び一定時間内に出現する GD 発生率である。GD の平均周波数は、実験開始より 2 分目までは、12.7 c/s, 12.0 c/s と比較的高い値を示しているが、2 分目以後は、10.0 c/s, 10.0 c/s, 10.3 c/s と、ほぼ一定の値に収束している。これは、Fig. 3 の B-3 の筋電図波形にみられるが如く、疲労中期から GD が形成されている事によると考えられる。以上の結果からヒトの等尺性筋収縮負荷時の筋電図に出現する GD の周波数は 10.0 c/s であることが明確となった。そこで、実験開始より 2 分後から 5 分後までに注目して、其の他の観察項目を調査すると、各項の平均値はほぼ同じ様な推移を示し、値の変動は小さい。GD を構成する筋パルス放電数について、平均値では、36~38 パルスとほぼ一定の数値であるが大きい標準偏差が見られる。又、GD の持続時間、及び発生率も時間経過において近似の値を示す。これは、GD の形成に関与する神経筋組織の活動機序を知る上で重要なデータである。

Table 2. Analysis of various properties of grouping discharge in progress of muscular fatigue

Time (min)	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5
Frequency of G.D. (cycle/sec)	12.7± 2.2	12.0± 2.6	10.0± 2.2	10.0± 2.0	10.3± 2.1
Pulse numbers in a group	23.3±15.4	34.1±22.2	36.6±35.0	37.6±28.5	36.2±19.6
Duration of G.D. (msec)	97.4±36.4	108.9±45.3	139.7±45.4	142.9±35.5	140.4±34.9
Occurrence rate (%)	76.3± 9.6	80.5±11.2	85.6± 9.3	86.2± 6.3	85.3± 7.1

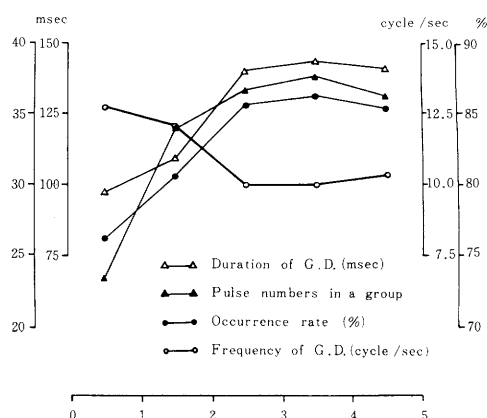


Fig. 6. Schematic presentation of various properties of grouping discharge in progress of muscular fatigue.

Fig. 6は、Table 2の各項目の平均値を図にプロットしたものである。実験開始より2分後からは、各項目の平均値が、ほぼ一定の値を示し、GDの形成が安定期に入った事を示す。

### <考 察>

体温調節の熱産生機構の一つであるふるえ shivering は全身の筋群の等尺性収縮であり、運動などの仕事エネルギー変換による熱喪失が小さく、かつ対流性熱放散も小さいので、恒温動物の体熱産生に極めて有効な手段である<sup>15)18)</sup>。

ふるえの筋電図の特徴は群化放電GD波形の混入

にあり、GDの記録法や波形解析法の改良は今日の医用電子工学の進歩に負う所が大きい。一方、GDは先に述べた如く筋の疲労状態の筋電図にも出現する事が知られており<sup>5)9)17)25)26)</sup>、本研究においては等尺性収縮負荷による筋疲労の誘発、疲労過程の筋電図記録、さらに筋電図に出現したGD波形の詳細な解析をデータ処理システムを用いて実施し、この実験過程を筋電図一般における生理学的解析手法のモデルとして提示している。

本研究では等尺性筋収縮負荷を最大筋収縮力(MVC)の25%および40%に設定<sup>9)</sup>しているが、この妥当性に関しては Hagberg<sup>5)</sup>の実験報告から得られた計算式( $\ln y = 12.74 - 2.14 \ln x$ )から逆に示す事が可能である。即ち、負荷量  $x = 25\% (40\%)$  MVCにおいて耐久時間は  $y = 347.8 (123.2)$  秒となり、本研究に用いた負荷量(%MVC)では筋収縮負荷開始から2分後より平均周波数が一定値に収束するとの実験結果と極めてよく符合している。

さて、従来の目測計算による筋電図の解析<sup>8)10-13)21)27-29)</sup>では、ふるえの初期や等尺性収縮負荷による筋疲労初期の筋電図に混入するGDの同定・解析は殆ど不可能に近い状態であったが、我々は先の報告<sup>9)16)18)</sup>でデータ処理システムの導入と多変量解析の駆使によってGDの条件設定値をより客観的に決定する事に成功した。即ち、等尺性筋収縮の経過中に誘発される筋疲労の筋電図波形にも寒冷ふるえと同様なGDが記録され、かつGDの形成にあずかる二個の筋放電パルス間隔がおよそ20msec以下である事を客観的に証明した先の研究報告<sup>9)16)18)</sup>は体温調節研究分野に寄与する所大である。

本研究の場合もGD形成のインターバルの条件設

定値はおよそ 20msec 以下であった。この結果は、等尺性収縮負荷による筋疲労時の筋電図と、寒冷ふるえ時の筋電図の G D が共通であることを示しており、しかもウサギとヒトの筋電図記録で差がない点は注目に価する<sup>9)16)18)</sup>。

脊髄レベルおよび皮質レベルにおける G D 形成機序に関する研究<sup>1)8~10)12~15)18)20)21)24)27~30)</sup>も多いが、本研究における Table 2 と Fig. 6 に示した実験結果は筋疲労時筋電図の G D 形成には或る決まった筋疲労閾値の存在を示唆するものであり、寒冷刺激によるふるえ発現に閾値温度や一定の様式が存在する事実とよく符合する。

逆に解析のための条件設定値(約20msec 以下)がふるえや筋疲労の強弱に関係なく適合できるか否かは多少の検討を要する。この条件設定値はウサギのふるえ筋電図の G D 解析に際して、軽度又は中等度のふるえにみる筋電図上の G D の周波数測定に極めて良く適合するが、強度の寒冷ふるえ筋電図の G D の周波数はむしろ低周波として表示される事があり多少疑問であるとの報告もある<sup>18)</sup>。しかるに、本研究の Table 2 及び Fig. 6 に示される如く、等尺性収縮負荷による筋疲労が進行するにつれて一個の grouping に参加する筋放電スパイク数は増加し、負荷開始 2 分目以後では 36~38 個に収束している。また一個の grouping の持続時間も 140~143msec に収束しており、疲労中期かつ極期にかけては G D の周波数はほぼ  $10.0 \pm 2.2$  c/s に定まっている。この結果は、動物の種差<sup>24)</sup>、誘発条件、等尺性筋収縮の程度に関係なく G D 解析には条件設定値(約 20 msec 以下)を適用する事の妥当性を強く支持している。

先に述べた G D の発生機序<sup>1)8~10)12~15)18)20)21)24)27~30)</sup>に関して、本研究結果において被験者の全 6 例で G D の条件設定値がほぼ一定値を示した事実は、G D が "at random" や "by chance" に形成される、とは考え難く、まして Jung<sup>8)</sup>の提唱する "sliding co-ordination" によるものでない事を明示している<sup>11)15)</sup>。即ち、前者が成立すると仮定すると G D の条件設定値は求め難く、又求められたとしても全例がほぼ一定値を示す可能性は極めて稀れであり、後者と仮定すれば、1 分間毎の G D の測定数を考慮した場合、各 1 分間のパルス間隔の発生頻度はほぼ一定となり、本研究の如き実験結果は得られようはずはない。以上の事から G D の周波数リズム形成に

は積極的な形成機序が作動していると考えられ、今日では求心路遮断(deafferentation)が、ふるえの律動性や強度に著しい悪化をもたらすと言う報告もある。しかし、求心性遮断域の筋肉の中の運動ユニットの律動周期性は依然として残存するとの報告<sup>27~29)</sup>もあり、脊髄レベルにおける G D のリズム発振機能は Renshaw 細胞を介する局所性の抑制性フィードバック回路に依存するものと考えるのが妥当である<sup>1)15)</sup>。

## ＜要 約＞

正常ウサギの寒冷ふるえ (cold shivering) 筋電図にみられる群化放電 (G D) の解析に用いた G D の条件設定値<sup>13)18)</sup>の妥当性を検索するためにヒトの随意・等尺性筋収縮時の筋電図波形にみる G D をデータ処理システム (A T A C 450 及び P C -8001) にて解析、かつ G D の詳細な分析を目的として下記の研究を実施した。

①室温 25°C・湿度 65% の常温環境下にて先の論文<sup>9)</sup>に記載したと同一の被験者 (6 名・年令 22~33 才・体重 54~72kg) の上腕二頭筋 (M. Biceps branchi) に誘発させた等尺性筋収縮筋電図波形の中にある G D の構成成分である筋放電を本研究の解析資料とした。

②上記①の方法にて得られた筋電図波形に関して、Cluster 分析および因子分析を用い、G D の条件設定値を検索し、連続する 2 個の筋放電パルス間隔およそ 20 msec 以下を条件設定値と決定した。

③等尺性収縮負荷による筋疲労の進行過程で記録された筋電図波形を経時的に分画し、G D の周波数、G D を構成する筋放電パルスの数、G D の持続時間及び一定時間内に出現する G D の発生率の 4 項目について解析し下記の結果を得た。

④ G D の平均周波数は等尺性収縮による筋疲労の初期 (25, 40% M V C 負荷開始 2 分目まで) には 12~13 c/s と比較的高い値を示すが疲労の中期 (2 分目以後) には 10.0 c/s とほぼ一定値に収束する。この結果から G D は疲労中期に形成されかつヒトの寒冷ふるえや筋疲労時にみる G D の周波数は 10.0 c/s である事が判明した。

⑤筋疲労中期から極期 (2 分目~5 分目) において G D 構成に参加する筋放電パルスの平均値は負荷開始より次第に増加し、36~38 パルスではほぼ一定値を示し、G D の持続時間及び発生率もパルス数の変化

とほぼ平行推移した。

⑥これらの結果はG Dの形成機序およびG Dの体温

調節上の意義を検索するため重要な資料であり、この点について幾らかの検討が加えられた。

## ＜文 献＞

- 1) Bligh, J. (1973): Temperature regulation in mammals and other vertebrates. 70-75, North-Holland/American Elsevier Pub. Co. INC., New-York.
- 2) Chatonnet, J. & Tanche, M. (1956): Dissociation du frisson "central" et du frisson "réflexe" chez le chien à moelle détruite. *J. Physiol. (Paris)*, 48, 439-442.
- 3) Fruchter (1954): Introduction to Factor Analysis. 1-105, van Nostrand Co. Ltd. New York-Toronto-London.
- 4) 林知己夫 (1979): クラスター分析の意味. 数理科学, 190, 5-8.
- 5) Hagberg, M. (1981): Muscular endurance and surface electromyogram in isometric and dynamic exercise. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 51, 1-7.
- 6) Hemingway, A. (1963): Shivering. *Physiol. Rev.*, 43, 397-422.
- 7) 柏木繁男 (1962): 因子分析における図表解の客観化について. 心理学研究, 34, 36-39.
- 8) Jung, R. (1941): Physiologische Untersuchungen über den Parkinsontremor und andere Zitterformen beim Menschen. *Z. ges. Neurol. Psychiat.*, 173, 263-332.
- 9) 近藤正行, 染岡慎一, 大渡 伸, 山口和正, 藤本博一, 小坂光男 (1981): 熱産生機構の等尺性筋収縮筋電図の解析 (I) クラスター分析による群化放電の条件設定, 熱帯医学, 23, 111-118.
- 10) Kosaka, M. (1969): Reflex inhibition of cold shivering by pressure on the eye-ball and the ear-root of the rabbit, and its afferent pathway. *Jap. J. Physiol.*, 19, 149-159.
- 11) Kosaka, M. (1971): Grouping voltage in the electromyogram of cold induced tremor. *J. Physiol Soc. Jap.*, 33, 522.
- 12) Kosaka, M. & Simon, E. (1968): Kälteremor wacher, chronisch spinalisierter Kaninchen im Vergleich zum Kältezittern intakter Tiere. *Pflügers Arch.*, 302, 333-356.
- 13) Kosaka, M. & Simon, E. (1968): Der zentralnervöse, spinale Mechanismus des Kältezitterns. *Pflügers Arch.*, 302, 357-373.
- 14) Kosaka, M., Simon, E. & Thauer, R. (1967): Shivering in intact and spinal rabbits during spinal cord cooling. *Experientia (Basel)*, 23, 385-387.
- 15) 小坂光男 (1981): ふるえ, 温熱生理学 (中山編), 111-121, 理工学社, 東京.
- 16) 小坂光男, 大渡 伸, 井元孝章, 土屋勝彦, 岡本義久, 彭 福春, 小野哲郎 (1980): 熱帯医学研究用環境制御実験装置, 熱帯医学, 22, 127-136.
- 17) Marsden C. D., Meadows J. C. & Merton P. A. (1976): Fatigue in human muscle in relation to the number and frequency of motor impulses. *J. Physiol. (Lond.)*, 258, 94-95.
- 18) 大渡 伸, 小坂光男, 土屋勝彦, 井元孝章, 近藤正行, 山口和正 (1981): ウサギの寒冷ふるえ筋電図における群化放電 (Grouping Discharge) の解析. 熱帯医学, 23, 61-67.
- 19) 佐野竹彦 (1974): クラスター分析結果の安定性について. 教育心理学研究, 22, 45-49.
- 20) Sato, H. (1981): Fusimotor modulation by spinal and skin temperature changes and its significance in cold shivering. *Experimental Neurology*, 74, 21-32.
- 21) Simon, E., Klusmann, F. W., Rautenberg, W., & Kosaka, M. (1966): Kältezittern bei nar-kotisierten spinalen Hunden. *Pflügers Arch.*, 291, 187-204.
- 22) Simon, E. (1974): Temperature regulation: The spinal cord as a site of extrahypothalamic ther-

- moregulatory functions. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.*, 71, 1-76.
- 23) Simon, E., Rautenberg, W., Thauer, R. & Iriki, M. (1963): Auslösung themoregulatorischer Reaktionen durch lokale Kühlung im Vertebralkanal. *Naturwissenschaften*, 50, 337.
  - 24) Spaan, G. & Klusmann, F. W. (1970): Die Frequenz des Kältezitterns bei Tierarten verschiedener Größe. *Pflügers Arch.*, 320, 318-333.
  - 25) Stephens, J. A. & Taylor, A. (1970). Changes in electrical activity during faiguing voluntary isometric contraction of human muscles. *J. Physiol. (Lond.)*, 207, 5-6.
  - 26) Stephens J. A. & Taylor A. (1972): Fatigue of maintained voluntary muscle contraction in man. *J. Physiol. (Lond.)*, 220, 1-18,
  - 27) Stuart, D., Ott, K., Ishikawa, K. & Eldred, E. (1966): The rhythm of shiveing, I, General sensory contributions. *Am. J. Phys. Med.*, 45, 61-74.
  - 28) Stuart, D., Ott, K., Ishikawa, K. & Eldred, E. (1966): The rhythm of shivering, II, Passive proprioceptive contributions. *Am. J. Phys. Med.*, 45, 75-90.
  - 29) Stuart, D., Ott, K., Ishikawa, K. & Eldred, E. (1966): The rhythm of shivering, III, Central contributions. *Am. J. Phys. Med.*, 45, 91-104.
  - 30) 山本宗平 (1966): 寒冷ふるえ時の筋電図にみられる周期的放電および持続的放電について. 日本生理誌, 28, 217-226.