—原 著—

腰痛患者の下肢筋筋電図波型の分析

石坂 公人

日本医科大学整形外科教室 (主任: 白井康正教授)
指導: 伊藤忠厚特任教授

Analysis of the EMG discharge patterns in the muscles of the lower extremity in patients with low back pain

Kimihito Ishizaka

Department of Orthopedics, Nippon Medical School

The present paper describes a computer analysis of the motor units from the gluteus maximus, the tibialis anterior and the gastrocnemius muscles, so as to clarify the mechanism of muscular support around the pelvis and the lower extremities in patients with low back pain. The subjects observed consisted of 33 cases with low back pain and 17 normal persons.

One hundred consecutive discharges of each motor unit obtained in relaxed standing posture were automatically displayed in the form of amplitude correlogram, amplitude variation and interval variation. Amplitude correlograms were classified into 4 types, i. e., type A, B, C and D. Amplitude variations were classified into 3 classes, i. e., (−): amplitude variations within 100 μ V, (±): between 100 and 200 μ V, and (+): over 200 μ V. Interval variations were classified into 2 classes, i. e., (−): discharge intervals within 100 msec and (+): over 100 msec. The results were as follows:

1) In almost all normal persons, the results of these amplitude correlograms were of type C, whereas amplitude and interval variations were of class (−).

2) In the majority of the patients with intervertebral disc herniation and spinal canal stenosis, amplitude correlograms were of type B or D, amplitude and interval variations were of class (±) or (+).

3) Almost all the patients with spondylolysis showed type C in amplitude correlograms and (−) in amplitude and interval variations. These results were very similar to those in normal cases.

From these results, it can be stated that the stability of the pelvis and the lower extremity during standing is mainly controlled by the ligamentous support in normal persons, while in the patients with low back pain, the muscular support plays an important role in the stabilizing mechanisms around the pelvis and the lower extremities instead of the weakened ligamentous support.

Key words: computer analysis, motor unit, intervertebral disc herniation, spinal canal stenosis, spondylolysis

緒 言

腰痛疾患に関する筋電図の検索は、従来から行われてきたが¹⁻⁵⁾、近年になり筋電図波型分析に電算機が導入されるに至り、筋電図学的研究も新たな方面に展開しつつある⁶⁻¹²⁾。人間の立位における下肢の筋性支持機構に関する筋電図学的研究は、一般には表面電極法による分析のほうが容易で理解しやすいために、従来から行われてきた方法である^{3,4)}。筋放電を一つ一つ motor unit の単位で総合的に分析する方法は、電算機が導入されて初めて可能となってきた。すなわち数個の motor unit 群の量的分析を電算機の補助のもとで、正常例を標準として腰痛疾患例と比較した際、立位での下肢支持機構が明らかになる可能性がある。そこで著者は、下肢筋群の筋電図を検索し、その motor unit の振幅、放電間隔時間について電算機により分析し、振幅コレログラム (amplitude correlogram)、振幅変動図 (amplitude variation) および放電間隔時間変動図 (interval variation) を作製し、検討した結果について報告する。

研究材料および方法

(1) 検査対象

昭和 56 年 1 月～昭和 57 年 5 月までの 1 年 5 ヶ月間に日本医科大学付属病院整形外科で扱った腰痛を主訴とする患者、男性 25 例、女性 8 例の 33 例と、その比較対照例としての健康正常者、男性 8 例、女性 9 例の 17 例、合計 50 例である。年齢分布は腰痛疾患例では 21～74 才で、平均 47.1 才であり、正常例では 19～65 才で、平均 41.5 才である。腰痛疾患例の

内訳は、椎間板ヘルニア 13 例 (L 4-5 間 7 例、L 5-S1 間 6 例)、椎管狭窄症 13 例および L 5 脊椎分離症 7 例である。なお、椎間板ヘルニア例は全例手術的治療を行い、髄核の脱出が手術時に確認されたものであり、椎管狭窄症例は臨床症状および脊髄造影で病態の存在が確認され、脊椎分離症例は臨床症状および単純 X 線で病態の存在が確認されている。

(2) 被検筋

大殿筋 (m. gluteus maximus)、前脛骨筋 (m. tibialis anterior) および腓腹筋内側頭 (m. gastrocnemius) で、腰痛疾患例では必ず症状のみられる側を検索した。上記の筋群に関する被検筋数は、正常例 47 筋、腰痛疾患例では椎間板ヘルニア例 36 筋 (L 4-5 間例 20 筋、L 5-S1 間例 16 筋)、椎管狭窄症例 35 筋、脊椎分離症例 21 筋の合計 139 筋である。

(3) 検査方法

筋電計は三栄測器製筋電計 Biophysigraph 130 system (1205 D) を使用し、電極は一芯同心型針電極を使用した。被検者は立位で、被検筋各々の筋腹のほぼ中央部に電極を刺入し、個々の motor unit が良く分離して、互いに干渉波形を呈さず、かつその振幅が最大となる位置で電極を固定した。得られた連続する motor unit をいったん SONY 製データレコーダー NFR-3000 に記録した。300 μ V に threshold level を設定し、それを超える連続する 100 個の motor unit を sampling clock 100 μ sec で三栄測器製 Signal Processor 7 T 08 型情報処理装置に input し、各 motor unit の区間を肉眼的に設定することにより、振幅および放電間隔時間を自動測定して、これら进行分析した (Fig. 1)。分析した結果は amplitude correlogram,

Fig. 1 Block diagram for the analysis of motor units

Fig. 2 In amplitude correlogram, X-axis exhibits the time lag whereas Y-axis serial correlation coefficients. In amplitude variation and interval variation, X-axis shows discharge numbers, while Y-axis the amplitude or the intervals.

amplitude variation および interval variation として表した (Fig. 2). amplitude correlogram は振幅相互間の系列的相関を求めることにより得た。連続する n 個の motor unit の個々の振幅を各々 $X_1, X_2, X_3,$

Fig. 3 Amplitude correlograms are theoretically classified into 4 types. Type A represents a permanent periodic changes. Type B and type D represent no correlations. Type C represents a damped oscillation.

....., X_n とすると, 系列相関係数 r_k は次の式で得られる.

$$r_k = \frac{1}{(n-k)S_1 \cdot S_2} \sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X}_1)(X_{t+k} - \bar{X}_2)$$

$$\text{ここで } \bar{X}_1 = \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} X_t \quad \bar{X}_2 = \frac{1}{n-k} \sum_{t=k+1}^n X_t$$

$$S_1^2 = \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X}_1)^2 \quad S_2^2 = \frac{1}{n-k} \sum_{t=k+1}^n (X_t - \bar{X}_2)^2$$

X 軸に時間, Y 軸に求められた一連の相関係数をプロットすることにより amplitude correlogram を得た. 理論コレログラムの典型的なものとして 4 型があげられる (Fig. 3). type A は完全な周期現象を表している. type B と type D は成員の各々が独立であるものにみられ, type C はある減衰を伴いながら周期的な変化をしているものにみられる¹⁴⁾. amplitude variation と interval variation は, 同一の motor unit に関して, X 軸に motor unit の発射番号, Y 軸に振幅あるいは放電間隔時間をプロットすることにより作製した. 本実験では, threshold level を $300 \mu V$ に設定し, これにより threshold level を超える motor unit はすべて演算されるが, noise, 交流波や基線の動揺による artifact は除外することができた.

結 果

1. 健康正常例の amplitude correlogram, amplitude variation および interval variation

健康正常例の amplitude correlogram は多くが type C を示した. m.gluteus maximus では, 15 例中 type C は 11 例 (73.3%), type B は 1 例 (6.7%), type D は 3 例 (20.0%) であった. m.tibialis anterior では 16 例中 type C は 10 例 (62.5%),

Table 1 Classification of correlograms (normal persons)

	type B	type C	type D	Total
Gluteus maximus	1	11	3	15
Tibialis anterior	3	10	3	16
Gastrocnemius	0	13	3	16

Fig. 4 Amplitude variations in normal persons are classified into 3 classes. (-): within 100 μ V of amplitude, (±): between 100 and 200 μ V and (+): over 200 μ V

Fig. 5 Interval variations in normal persons are classified into 2 classes. (-): within 100 msec of interval and (+): over 100 msec

type B 3 例 (18.7%), type D 3 例 (18.7%) であり, m.gastrocnemius では 16 例中 type C は 13 例 (81.3%), type D 3 例 (18.7%) であった (Table 1)

健康正常例の amplitude variation では振幅の変動域の小さいものが多くみられた. 振幅の変動域を 3 クラス, すなわち (-): 変動域が 100 μ V 以内におさまるもの, (±): 変動域が 100~200 μ V の間に含まれるもの, (+): 変動域が 200 μ V を超えるものに分類する.

m.gluteus maximus では, 15 例中 (-) は 9 例 (60.0%), (±) は 4 例 (26.7%), (+) は 2 例 (13.3%) であった. m.tibialis anterior では 16 例中 (-), (±), (+) は各々 13 例 (81.3%), 3 例 (18.7%), 0 例 (0%) であり, m.gastrocnemius では 16 例中 (-), (±), (+) は各々 11 例 (68.8%), 4 例 (25.0%), 1 例 (6.2%) であった (Fig. 4).

健康正常例の interval variation では, 放電間隔時間の変動域の小さいものが多くみられた. interval variation においては, 放電間隔時間の変動域を二つのクラス, すなわち (-): 変動域が 100 msec 以内におさまるもの, (+): 変動域が 100 msec を超えるものに分類する.

m.gluteus maximus では 15 例中 (-), (+) は各々 13 例 (86.7%), 2 例 (13.3%) であった. m.tibialis anterior では, 16 例中 (-), (+) は各々 14 例 (87.5%), 2 例 (12.5%) であり, m.gastrocnemius では 16 例中 (-), (+) は各々 15 例 (93.8%), 1 例 (6.2%) であった (Fig. 5).

以上のように正常例では amplitude correlogram で type C を示すものが多く, amplitude variation および interval variation では, 変動域の小さな (-) を示すものが多かった.

2. 腰痛症例の amplitude correlogram, amplitude variation および interval variation

全般的に椎間板ヘルニア例での amplitude correlogram では, type C を示すものは少なく, type B あるいは type D を示すものが大半である. また, amplitude variation および interval variation では, 変動域の大きいものが多くみられた. 椎間板ヘルニア例の高位別では L4-5 間椎間板ヘルニア例において, amplitude correlogram では

Fig. 6 Amplitude variations (L4-5 intervertebral disc herniation) are classified into 3 classes. (-) : within 100 μV of amplitude, ($\pm$) : between 100 and 200 μV and (+) : over 200 μV

Table 2 Classification of correlograms (intervertebral disc herniation)

		type B	type C	type D	Total
Gluteus maximus	L 4-5	3	1	2	6
	L 5-S1	3	0	1	4
Tibialis anterior	L 4-5	5	0	2	7
	L 5-S1	5	0	1	6
Gastrocnemius	L 4-5	5	1	1	7
	L 5-S1	2	1	3	6

type B あるいは type D を示すものがほとんどを占め, m.gluteus maximus では 6 例中 5 例 (83.3%), m.tibialis anterior では 7 例中 7 例 (100%), m.gastrocnemius では 7 例中 6 例 (85.7%) であった (Table 2).

amplitude variation では比較的変動域の大きい($\pm$)あるいは (+) の占める割合が高く, m.gluteus ma-

Fig. 8 Amplitude variations (L5-S1 intervertebral disc herniation) are classified into 3 classes. (-) : within 100 μV of amplitude, ($\pm$) : between 100 and 200 μV and (+) : over 200 μV

Fig. 7 Interval variations (L4-5 intervertebral disc herniation) are classified into 2 classes. (-) : within 100 msec of interval and (+) : over 100 msec

Fig. 9 Interval variations (L5-S1 intervertebral disc herniation) are classified into 2 classes. (-) : within 100 msec of interval and (+) : over 100 msec

ximus では6例中6例 (100%), m.tibialis anterior では7例中4例 (57.1%), m.gastrocnemius では7例中5例 (71.4%) であった (Fig. 6). interval variation では変動域の大きい (+) の占める割合が高く, m.gluteus maximus では6例中5例 (83.3%), m.tibialis anterior では7例中6例 (85.7%), m.gastrocnemius では7例中5例 (71.4%) であった (Fig. 7). L5-S1 間椎間板ヘルニア例においても amplitude correlogram, amplitude variation および interval variation はほぼ同様の結果を示した (Table 2, Fig. 8, 9).

脊椎管狭窄症例での amplitude correlogram では type C を示すものは少なく, type B あるいは type D を示すものが圧倒的に多く, m.gluteus maximus では10例中で type B, C, D を示したものは各々3例 (30.0%), 1例 (10.0%), 6例 (60.0%) であった. m.tibialis anterior では12例中 type B, C, D を示したものは各々8例 (66.7%), 1例 (8.3%), 3例 (25.0%) であり, m.gastrocnemius では13例中 type B, C, D を示したものは各々8例 (61.5%), 2例 (15.4%), 3例 (23.1%) であった (Table 3).

amplitude variation では比較の変動域の大きい (±) あるいは (+) を示すものが多くみられ, m.gluteus maximus では10例中7例 (70.0%), m.tibialis anterior では12例中9例 (75.0%), m.gastrocnemius では13例中8例 (61.5%) であった (Fig. 10).

interval variation では変動域の大きい (+) の占める割合が高く, m.gluteus maximus では10例中7例 (70.0%), m.tibialis anterior では12例中11例 (91.7%), m.gastrocnemius では13例中10例 (76.9%) であった (Fig. 11).

脊椎分離症例においては, 椎間板ヘルニア例や脊椎管狭窄症例と異なる結果を得た. すなわち, amplitude correlogram では type C を示すものが, m.gluteus maximus で7例中3例 (42.9%), m.tibialis anterior で7例中3例 (42.9%), m.gastrocnemius で7例中4例 (57.2%) と比較的多くみられた (Table

Table 3 Classification of correlograms (spinal canal stenosis)

	type B	type C	type D	Total
Gluteus maximus	3	1	6	10
Tibialis anterior	8	1	3	12
Gastrocnemius	8	2	3	13

Fig. 10 Amplitude variations (spinal canal stenosis) are classified into 3 classes. (-) : within 100 μV of amplitude, (±) : between 100 and 200 μV and (+) : over 200 μV

Fig. 11 Interval variations (spinal canal stenosis) are classified into 2 classes. (-) : within 100 msec of interval and (+) : over 100 msec

4). また amplitude variation では, m.gluteus maximus において, 7例中で (-), (±), (+) を示したものは各々2例 (28.6%), 4例 (57.2%), 1例 (14.2%), m.tibialis anterior では7例中で (-), (±), (+) を示したものは各々6例 (85.8%), 1例 (14.2%), 0例 (0%), m.gastrocnemius では7例中で (-), (±), (+) を示したものは各々4例 (57.2%), 2例 (28.6%), 1例 (14.2%) と変動域の小さい (-) の占める割合が増えている (Fig. 12).

interval variation では m.gluteus maximus において, 7例中で (-), (+) を示したものは各々5例 (71.4%), 2例 (28.6%), m.tibialis anterior では

Table 4 Classification of correlograms (L5 spondylolysis)

	type B	type C	type D	Total
Gluteus maximus	4	3	0	7
Tibialis anterior	2	3	2	7
Gastrocnemius	1	4	2	7

Fig. 12 Amplitude variations (L5 spondylolysis) are classified into 3 classes. (-) : within 100 μ V of amplitude, (±) : between 100 and 200 μ V and (+) : over 200 μ V

Fig. 13 Interval variations (L5 spondylolysis) are classified into 2 classes. (-) : within 100 msec of interval and (+) : over 100 msec

7例中で(-), (+)を示したものは各々4例(57.2%), 3例(42.8%), m.gastrocnemiusでは7例中で(-), (+)を示したものは各々6例(85.8%), 1例(14.2%)と、変動域の小さい(-)の占める割合が増えている(Fig.13)。

考 察

筋電図の波型分析に関して、近年次第に電算機が導入されてきている。電算機による研究は、Lee and White⁶⁾, Kopec ら⁸⁾, 小川¹⁰⁾, 比企¹²⁾, Shirai¹³⁾によってなされ、各報告者はいずれも放電持続時間ヒストグラムの型について論じている。

motor unit の振幅は innervation ratio, 筋線維の大きさ、温度、筋細胞内の酸素量および被検筋内での電極と活動線維との距離などの要因に左右される¹⁵⁾。

また motor unit は筋肉内では、ある場所に局限しているのではなく、かなり広い範囲に分布して、他の

motor unit の筋線維と重なり合っている¹⁶⁾。同心型針電極の導出範囲は 0.5 mm ぐらいといわれ、得られるスパイクは決してその motor unit に属する筋線維全部の活動電流が合成されたものではなく、その一部だけすなわち subunits をみているにすぎないといわれる^{16,17)}。そのために、振幅をもってその被検筋の機能、筋力を客観的に分析することは不可能といわれている¹⁵⁾。しかし数個の motor unit 群の経時的な変化に注目して、これらの量的分析を行い、正常例を標準として腰痛疾患例と比較検討すれば、起立位安静時における下肢支持機構が明らかになると考えられる。そこで、連続する 100 個の motor unit を経時的に、電算機を用いてその振幅相互の関係を検索し、amplitude correlogram を作製し、また振幅に関して amplitude variation, 放電間隔時間に関して interval variation を作製し、これらを正常例および腰痛疾患例で比較検討した。

一般に、理論コレログラムとしては、type A, B, C および type D の4型があげられる¹⁴⁾。amplitude correlogram で type A を示したものは、正常例、腰痛疾患例を通じてみられなかった(Fig.3)。この事実は、連続する motor unit の振幅に関しては完全な周期性を有する変化のないことを示唆していると考えられる。正常例での amplitude correlogram では type C を示したものが多くみられた(Table 1)。このことは時間の推移につれて、振幅がいくらかずつ減衰しながら、周期性をもって変化していくことを示唆している。起立位を安定化させる筋力を調節するために、前の motor unit がその後に続く motor unit にいくらかずつ干渉しているのではないと思われる。また正常例での amplitude variation では、(-), (±), (+) の3クラスのうち、多くが変動域の小さな(-)のクラスに含まれていた(Fig.4)。正常例での interval variation でも、(-), (+) の2クラスのうち多くが変動域の小さな(-)に属していた(Fig.5)。

これら正常例の示した amplitude correlogram, amplitude variation および interval variation の結果から、起立位は次に続く motor unit を発射しうらただのぐくわずかのエネルギーを消費する。起立位における骨盤周辺および下肢部の支持は、筋エネルギーの消費を最小限にし、骨盤周辺および下肢部の靱帯性支持により姿勢が保持されている。

motor unit の振幅間になんら周期性のある相関を示さない type B あるいは type D が多くみられた (Table 2,3). また amplitude variation では、椎間板ヘルニア例および脊椎管狭窄症例で、(±) あるいは (+) を示したものは多く、変動域の大きなものの占める割合が高い (Fig. 6,8,10). interval variation でも同様の傾向がみられ、椎間板ヘルニア例および脊椎管狭窄症例では、(+) を示す変動域の大きなものの占める割合が高い (Fig. 7,9,11).

椎間板ヘルニアの病態は神経根の障害にあり、その支配下の筋は神経原性の所見を呈すると思われるが、筋は多神経根支配を受けているため、障害神経根の支配を受けている筋でも正常に近い所見を呈する場合もある。しかし一般的には、L4-5 間ヘルニアでは m. gluteus maximus および m. tibialis anterior に、L5-S1 間ヘルニアでは m. gluteus maximus および m. gastrocnemius に有意の所見が得られるわけである。脊椎管狭窄症は椎間板の変性と椎間関節の変性的変化が組み合わされて、馬尾神経や神経根を絞扼する状態といわれ^{18,19)}、これも椎間板ヘルニア例と同様に、病因論的には神経原性の所見を呈するはずである。事実、今回の検索でも type B あるいは type D の多い amplitude correlogram, 変動域の大きな amplitude variation, interval variation が得られ、椎間板ヘルニア例のものに類似していた。椎間板ヘルニア例および脊椎管狭窄症例では、amplitude variation の変動域の大きいものが多く、このことは起立位を安定させるために大小の振幅を有する motor unit が混在していることを示唆する。interval variation でも変動域の大きいものが多く、支持機構としての motor unit が不安定であることを示唆する。

椎間板変性や脊椎管および脊椎椎間孔の狭窄などの骨、軟骨性の支持機構の病変、変化は2次的に靱帯や関節包の支持機構の弱화를惹起し、静的固定の不安定性を起し、筋性固定すなわち動的固定の関与を促すことになる。これらの動的固定は、引き続き筋や靱帯へ再度にわたり過度の strain や stress を惹起することとなり、次いで筋けいれんを引き起こし、これがまた疼痛の原因となり²⁰⁾、筋放電の不安定性へとつながる悪循環を引き起こす。これら筋けいれんは筋内の虚血状態を生じさせ、筋内の代謝異常を惹起し、これが Lewis ら²¹⁾のいう P factor となって疼痛を起こさせる。amplitude correlogram, amplitude variation および interval variation で正常例と全く異なった型を

示したのは、対象となった筋が1次的に神経原性萎縮を起しているためと、2次的に筋けいれんを起しているためと思われる。

他方、脊椎分離症例では、椎間板ヘルニア例および脊椎管狭窄症例とはいずれとも異なる結果を示した。すなわち、amplitude correlogram では正常例で多くみられた type C を示すものが比較的多く (Table 4), また amplitude variation では (−) を示す変動域の小さいものが多く、interval variation でも変動域の小さい (−) を示すものが多かった (Fig. 12,13)。

脊椎分離症では、腰痛は知覚神経である腰神経後枝内側枝の分離部による刺激によるものであり²²⁾、運動神経は関与していないはずである。本疾患においては、椎体の前方への動揺性が問題であり、これに対しての自然固定は、前、後縦靱帯、椎間板および背筋が主体であろう。神経原性の障害は関与しないであろうから、靱帯性または椎間板性の痛みによる2次的な筋性固定が支持機構に関与していると考えられる。したがって筋電図学的には、靱帯性、椎間板性の所見が得られると思われる。これが amplitude correlogram の type C, amplitude variation の (−), interval variation の (−) の型であろうと推察する。

結 論

1) 正常例 17 例、腰痛疾患例 33 例 (椎間板ヘルニア例 13 例、脊椎管狭窄症例 13 例、脊椎分離症例 7 例) の m. gluteus maximus, m. tibialis anterior および m. gastrocnemius 計 139 筋より、一芯同心型針電極を用いて、それぞれにつき連続する 100 個の motor unit を情報処理装置で分析して、amplitude correlogram, amplitude variation および interval variation を作製し、正常例を標準として腰痛疾患例と比較検討した。

2) 正常例では、amplitude correlogram に関して多くのものが、ある減衰を伴いながら周期的な変化をしている type C を示した。amplitude variation および interval variation では、振幅および放電間隔時間の変動域の小さいものが多くみられた。このことから、起立位では次に続く motor unit を発射しうだけのごくわずかのエネルギーを消費し、骨盤周辺および下肢部の靱帯性支持により、筋エネルギーの消費を最小限に抑えるように姿勢が保持されていると考えられる。

3) 椎間板ヘルニア例と脊椎管狭窄症例では、とも

に amplitude correlogram に関して motor unit の振幅間になら周期性のある相関を示さない type B あるいは type D に属するものが多く、また amplitude variation, interval variation でも変動域の大きなものが多く、類似していた。このことから、1 次的に神経原性萎縮を起こしている筋が 2 次的に筋けいれんを起こし、起立位を安定させるために、筋性固定が関与していると考えられる。

4) 脊椎分離症例では、椎間板ヘルニア例および脊椎管狭窄症例と異なり、amplitude correlogram で type C を示すものが比較的多くみられ、amplitude variation および interval variation ではともに変動域の小さなものが多く、正常例に近い結果であった。本症では神経原性の障害は関与せず、靱帯性あるいは椎間板性支持の弱化による 2 次的な筋性固定が、起立位での支持機構に関与していると考えられる。

稿を終えるにあたり、終始御協力いただいた 整形外科学教室員各位に深く謝意を表します。

なお、本論文の要旨は 1982 年、第 5 回 ISEK (国際電気生理動作学会、ユーゴスラビア) において発表した。

文 献

- 宮崎惇弘, 田島稔弘, 米盛学: 腰痛症の治療と筋電図。老年病, **6**, 704~709, 1962.
- 山路兼生, 加藤泰弘, 佐藤雅一, 小島俊二, 丹羽滋郎, 吉田久純, 世古口公宏, 田熊清彦, 江崎勤弥, 林英夫, 佐藤春彦: 腰痛患者の筋電図学的検索。名古屋市大医学会誌, **14**, 9~18, 1963.
- 吉田恒丸: 腰痛患者の筋電図学的研究; とくに 軀幹直立筋の筋機能に関する考察。日整外会誌, **40**, 147~173, 1966.
- 白井康正: 腰痛患者の骨盤傾斜に関する研究。日医大誌, **34**, 59~71, 1967.
- 伊藤忠厚, 白井康正: 腰痛症。臨脳波, **17**, 532~541, 1975.
- Lee, R.G., and White, D.G.: Computer analysis of motor unit action potentials in routine clinical electromyography. "New developments in electromyography and clinical neurophysiology" (Desmedt, J.E. ed.), Vol. 2, p. 454~461, Basel, Karger, 1973.
- Kunze, K.: Quantitative EMG analysis in myogenic and neurogenic muscle diseases. "New developments in electromyography and clinical neurophysiology" (Desmedt, J.E. ed.), Vol. 2, p. 469~476, Basel, Karger, 1973.
- Kopec, J., Hausmanowa-Petrusewicz, I., Rawski, M., and Wolynski, M.: Automatic analysis in electromyography. "New developments in electromyography and clinical neurophysiology" (Desmedt, J.E. ed.), Vol. 2, p. 477~481, Basel, Karger, 1973.
- Bergmans, J.: Computer-assisted measurement of the parameters of single motor unit potentials in human electromyography. "New developments in electromyography and clinical neurophysiology" (Desmedt, J.E. ed.), Vol. 2, p. 482~488, Basel, Karger, 1973.
- 小川道子: 電子計算機を用いた筋電図波形の分析。臨脳波, **14**, 486~492, 1972.
- 三田繁義: ミニコンピューターの導入による腰痛症筋電図の研究; とくに振幅分析を中心として。日医大誌, **43**, 28~37, 1976.
- 比企健男: 腰椎椎間板ヘルニア患者の下肢筋筋電図の放電持続時間ヒストグラムに関する研究。日医大誌, **48**, 168~177, 1981.
- Shirai, Y., Take, M., and Ishizaka, K.: Automatic analysis of EMG in the patients with low back pain. J. Nippon Med. Sch., **48**, 316~319, 1981.
- 野村晋一: 放電間隔の変動要因の分析。"最新の筋電図学" (吉井直三郎, 堀浩編), p. 41~57, 永井書店, 東京, 1956.
- Buchthal, F.: An introduction to electromyography. p. 7~43, [Scandinavian University Books, Copenhagen, 1957.
- Buchthal, F.: The general concept of the motor unit. Res. Publ. Assoc. Res. Nerv. Ment. Dis., **38**, 3~30, 1961.
- 三木威男治, 時実利彦: 筋電図入門。p. 75~95, 南山堂, 東京, 1964.
- Verbiest, H.: A radicular syndrome from developmental narrowing of the lumbar vertebral canal. J. Bone Joint Surg., **36-B**, 230~237, 1954.
- 若松英吉: 疾患単位としての腰部脊椎管狭窄症。整形外科, **32**, 699~706, 1981.
- Bonica, J.J.: The management of pain. p. 103~109, Lee and Febiger, Philadelphia, 1954.
- Lewis, T., Pickerring, G.W., and Rothschild, P.: Centripetal paralysis arising out of arrested blood-flow to the limb, including notes on a form of tingling. Heart, **16**, 1~32, 1931.
- 伊藤忠厚: 脊椎分離症における疼痛発現の機序に関する考察。日整外会誌, **40**, 576~578, 1966.

(受付: 1982 年 12 月 28 日)