

# 局所皮下麻酔と圧刺激による筋の痛みの心理物理学

前田 吉樹\* 植松 弘進\*\* 大城宜哲\*\*\*  
小山 哲男\*\*\*\* 柴田 政彦\*\*\*\*\*

## Psychophysics of Tonic Muscle Pain Induced by Mechanical Pressure Stimulation with Subcutaneous Local Anesthesia

Yoshiki MAEDA \* Hironobu UEMATSU\*\* Yoshitetsu OSHIRO\*\*\* Tetsuo KOYAMA\*\*\*\* Masahiko SHIBATA\*\*\*\*\*

\*奈良学園大学 保健医療学部 (〒631-8523 奈良県奈良市中登美ヶ丘3丁目15-1)

\*Department of Health Science, NARAGAKUEN University. (3-15-1, Nakatomioka, Nara-shi, Nara, 631-8524, JAPAN)

\*\*大阪大学大学院医学系研究科 生体統御医学 麻酔・集中治療医学講座 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-2)

\*\*Department of Anesthesiology and Intensive Care, Osaka University Graduate School of Medicine. (2-2 Yamadaoka, Suita, Osaka, 565-0871, JAPAN)

\*\*\*神戸大学大学院 医学系研究科 外科系講座 麻酔科学分野 (〒650-0017 兵庫県神戸市中央区楠町7-5-2)

\*\*\*Division of Anesthesiology, Department of Surgery Related, Kobe University School of Medicine. (7-5-2 Kusunoki-cho, Chuo-ku, Kobe, Hyogo, 650-0017, JAPAN)

\*\*\*\*西宮共立脳神経外科病院 リハビリテーション科 (〒663-8211 兵庫県西宮市今津山中町11-1)

\*\*\*\*Department of Rehabilitation Medicine, Nishinomiya Kyoritsu Neurosurgical Hospital. (11-1 Yamanaka-cho, Imazu, Nishinomiya, Hyogo, 663-8211, JAPAN)

\*\*\*\*\*大阪大学大学院 疼痛医学寄附講座 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-2)

\*\*\*\*\*Donated course of Pain Medicine, Osaka University graduate school of medicine. (2-2 Yamadaoka, Suita, Osaka, 565-0871, JAPAN)

### 要旨

痛みは主観的な感覚であり、評価が難しい。本研究では、心理物理学的手法を用いて機械的圧刺激の強さと痛みの強さの関係を回帰式によってモデル化できるか検証した。さらに被験部位への皮下麻酔によって皮膚の痛みの成分を除去し、純粋な筋への圧刺激に対する痛みもモデル化が可能かを検証した。

健康成人13名を対象とし、被験者内デザインで全員が「麻酔なし」と「麻酔あり」条件の両方を実施した。デジタル圧痛計を用いて、腓腹筋の内側面に7段階(10N~40N)の圧を加え、それぞれの刺激に対する痛みの強さを Numerical Rating Scale (NRS)で回答させた。刺激圧を独立変数、NRSを従属変数とするモデル式を、線形回帰、べき関数、ゴンペルツ曲線についてそれぞれ求め、あてはめの良さを決定係数  $R^2$  によって評価した。

結果、麻酔の有無にかかわらず線形回帰よりも非線形関数(べき関数・ゴンペルツ関数)で  $R^2$  が有意に高かった。先行研究と同様、機械的圧刺激に対する痛みの強さも非線形関数によってモデル化することができた。心理物理学的手法によって、主観的な痛みの感覚はより客観的に定義・測定することが可能となる。

**キーワード** : 心理物理学, 筋痛, 皮下麻酔

## 1. はじめに

痛みは常に主観的な感覚であるため、客観的な評価が難しい。痛みの研究では熱刺激や圧刺激による実験的な痛み刺激が用いられるが、同じ刺激強度に対する痛みの強さに個人差が大きく、問題となることが多い。

「心理物理学」とは、心理量と物理量の関係性を明らかにする学問である。中でもよく知られている「スティーブンスのべき法則」は、刺激の物理的強度と、その感覚の心理的強度との関係を表す法則である。この法則に従うと、「重さ」や「暖かさ」といった感覚が、「質量」や「温度」といった物理量の関数として表すことができる<sup>1)</sup>。痛みについても

Priceら<sup>2,3)</sup>が「皮膚への侵害熱刺激の温度」と「痛みの強さ」がべき法則に従うことを報告している。痛みの強さを刺激強度の関数としてモデル化し、刺激に対する痛みの強さを個人毎に予測すれば、被験者間で実験的痛みの強さを統一することが理論上可能となる。このような手法は、人間の感覚を普遍的な関数に基づいて分析することから批判もある<sup>4,5)</sup>が、認知心理学や神経科学の分野などで現在でも用いられている<sup>6)</sup>。

前述のPriceらの研究は「皮膚への侵害熱刺激」を用いているが、同様の研究で「機械的な圧刺激」を用いた報告はない。臨床では皮膚の痛みよりも深部組織、とりわけ骨格筋の慢性痛に遭遇する機会が多く、難渋するケースも多い<sup>7)</sup>。こ

のため筋への圧痛を用いた慢性痛の評価法が開発されている<sup>9)</sup>が、その心理量と物理量の関係を直接的に検証した研究はない。そこで本研究では、筋への圧刺激による痛みの主観的強度が、先行研究のように回帰式でモデル化できるかを検証した。

圧刺激を用いた実験的痛み刺激の問題点として、筋を覆う皮膚や脂肪組織への刺激が伴う点が挙げられる。この問題への対策として、皮下麻酔によって皮膚感覚を一時的に麻痺させ、筋に対し純粋な圧刺激を加える手法が用いられている<sup>9,10)</sup>。過去の研究では、皮膚への純粋な圧刺激を用いると、繰り返し刺激による痛みの加重現象が大きくなること<sup>11)</sup>や、刺激中の機能的核磁気共鳴画像 (fMRI) による脳活動の推定でより広範な脳内ネットワークが活動すること<sup>12)</sup>が報告されている。本研究では、純粋な筋への圧刺激に対する痛みに対しても回帰式でのモデル化が可能かを検証した。

## 2. 方法

### 2.1 対象

痛みの訴えを有さない右利きの健常成人 13 名 (男性 8 名, 女性 5 名, 平均 25.5±4.67 歳) を対象とした。実験は被験者内デザインで行い、全ての被験者が「麻酔あり」条件と「麻酔なし」条件を行った。研究の参加に先立ち、書面での同意を得た。本研究は、大阪大学大学院医学系研究科倫理委員会の承認を得て実施した。

### 2.2 圧刺激

圧刺激の提示にはデジタル圧痛計 (Pressure Algometer NPA-1, 新光電子社) を用いた。刺激圧は 10N, 15N, 20N, 25N, 30N, 35N, 40N の 7 種類とし、1 刺激の持続時間を 20 秒、刺激間隔を 30 秒とした。刺激部位は右腓腹筋内側面とし、3cm×3cm の区域に設定した 4×4 個の格子点を順番に刺激することで、刺激の繰り返しによる加重現象が起らないよう配慮した<sup>13)</sup>。

### 2.3 皮下麻酔

「麻酔あり」条件と「麻酔なし」条件のうち、「麻酔あり」条件のみ圧刺激の前に皮下麻酔をおこなった。腓腹筋内側の被験区域にリドカイン<sup>®</sup>2 cc を皮下注入し、5 分経過したのち皮膚表面の温冷覚、痛覚の脱失を確認した。また実験終了後も麻酔の効果が持続しているかを確認した。麻酔は全て麻酔科認定医によって行われ、実験終了まで同一施設内に待機を依頼し有事に対応できる体制をとった。

### 2.4 痛みの評価

20 秒間の圧刺激に対する痛みの主観的強度を NRS (Numerical Rating Scale) を用いて 0~10 の 11 段階で評価さ

せた。0 を「全く痛くない」、10 を「考えられる限り最も強い痛み」とした。

各条件終了後には麻酔の有無による痛みの質の違いを評価するために、McGill Pain Questionnaire 日本語版 1) の「刺すような痛み」「切るような痛み」「重苦しい痛み」の 3 項目について、各条件で受けた痛みの質に対して「なし(0)」「軽度(1)」「中等度(2)」「重度(3)」の 4 段階で評価させた。

## 2.5 実験手続き

「麻酔あり」条件と「麻酔なし」条件は 3 日~7 日間のインターバルを設け実施し、各条件を実施する順番はカウンターバランス調整をおこなった。最初に練習パートで 7 段階の刺激圧に対して NRS 評価の練習をおこない、その後 7 段階の刺激を 4 回ずつランダムに与えた。

## 2.6 データの解析

倫理的配慮から、被験者が刺激中に痛みに耐えられなくなった場合は直ちに実験を中止した。結果、「麻酔なし」条件の 30N の刺激で痛みに耐えられなくなった者 1 名を解析から除外した。また、「麻酔なし」条件の 40N の刺激で痛みを感じなかった (NRS=0) 者 1 名も解析から除外し、合計 11 名のデータを解析対象とした。

刺激圧を X, 痛みの NRS を Y として回帰式へのあてはめを行った。回帰式に用いた関数は(1)線形回帰、(2)べき関数、(3)ゴンペルツ曲線の 3 種類とした。

各回帰式は a, b, c を定数として

(1) 線形回帰

$$Y = aX + b$$

(2) べき関数

$$Y = a + bX^c$$

(3) ゴンペルツ曲線

$$Y = ab^{c^x}$$

とし、被験者・条件ごとに最小二乗法から定数の最適解を求め 3 つの回帰式を得た (図 1)。

回帰式へのあてはめの良さを検証するため、回帰式から得られる NRS の予測値と実測値から決定係数 R<sup>2</sup> を算出した。

算出した R<sup>2</sup> に対して、麻酔と回帰式の種類による差を検証するため、麻酔条件 (麻酔あり・麻酔なし) と回帰式の種類 (線形回帰、べき関数、ゴンペルツ曲線) の 2 要因に対する繰り返しのある二元配置分散分析を行った。球面性仮定が棄却された場合、Greenhouse-Geisser の ε によって調整された自由度を用いて p 値を算出した。下位検定には Shaffer の MSRB (Modified Sequentially Rejective Bonferroni) 法を用いた。また McGill Pain Questionnaire の

条件間比較には Wilcoxon の符号付順位検定を用いた。いずれも有意水準は  $p < 0.05$  とし、解析には R Ver. 3.4.0 および JMP Pro 13.0.0 を用いた。

### 3. 結果

#### 3.1 回帰式へのあてはめの良さ

線形回帰、べき関数、ゴンペルツ曲線の  $R^2$  は、それぞれ麻酔なし条件で  $0.763 \pm 0.070$ ,  $0.779 \pm 0.078$ ,  $0.776 \pm 0.075$ 、麻酔あり条件で  $0.696 \pm 0.126$ ,  $0.71 \pm 0.139$ ,  $0.717 \pm 0.137$  (平均  $\pm$  標準偏差) であった(表 1)。

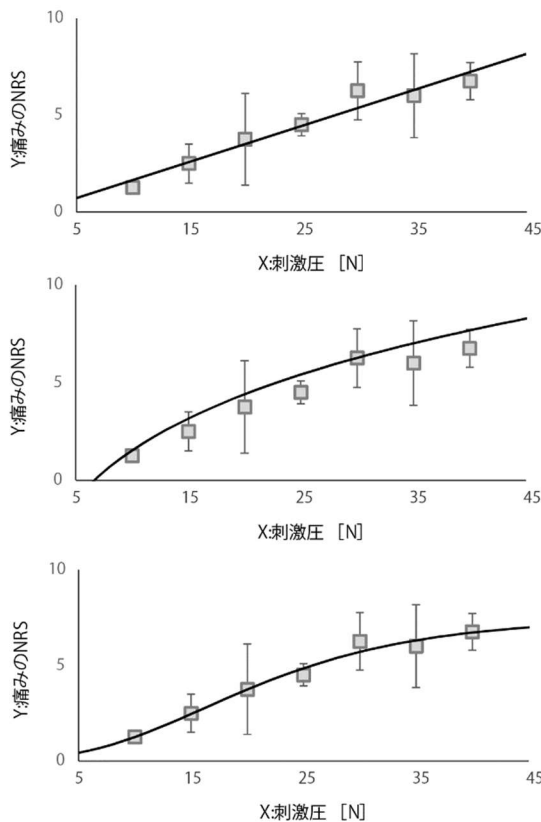
麻酔条件  $\times$  回帰式の二元配置分散分析の結果、回帰式の種類に有意な主効果[  $F(2, 20) = 18.9$ ,  $p < 0.001$ ,  $\epsilon = 1$ ,  $\eta^2 =$

$0.65$  ]を認めたが、麻酔条件の主効果[  $F(1, 10) = 2.16$ ,  $p = 0.17$ ,  $\epsilon = 1$ ,  $\eta^2 = 0.18$  ]と要因間の交互作用[  $F(2, 20) = 18.9$ ,  $p = 0.29$ ,  $\epsilon = 0.71$ ,  $\eta^2 = 0.11$  ]は認められなかった。

下位検定の結果、 $R^2$  は線形回帰よりもべき関数[  $p < 0.005$  ]およびゴンペルツ曲線[  $p < 0.005$  ]で有意に高かったが、べき関数とゴンペルツ曲線の間には有意な差を認めなかった[  $p = 0.30$  ] (図 2)。

#### 3.2 McGill Pain Questionnaire

3つの項目のうち、「刺すような痛み」のスコアのみ「麻酔あり」条件で有意に低下した[  $p < 0.05$  ]。「切るような痛み」[  $p = 1.00$  ], 「重苦しい痛み」[  $p = 0.29$  ]は条件間で差は認められなかった (図 3)



線形回帰

$$Y = -0.21X + 0.19$$

$$R^2 = 0.649$$

べき関数

$$Y = -19.2 + 13.5X^{0.18}$$

$$R^2 = 0.668$$

ゴンペルツ曲線

$$Y = 7.44 \times (0.01)^{0.91^X}$$

$$R^2 = 0.670$$

図 1 回帰式へのあてはめ

上段:線形回帰, 中段:べき関数, 下段:ゴンペルツ曲線へのあてはめ.

1被験者・1条件のデータで例示. 被験者・麻酔条件ごとに3つの回帰式を得る.

NRS: Numerical Rating Scale, R2: 決定係数, 回帰式による NRS の予測値と実測値との相関から算出.

回帰式のあてはめの良さを示す.

表1 各条件の R<sup>2</sup>

関数	麻酔	平均	標準偏差	最大—最小
直線	麻酔なし	0.76	0.07	0.88-0.65
	麻酔あり	0.70	0.13	0.88-0.50
べき関数	麻酔なし	0.78	0.08	0.93-0.67
	麻酔あり	0.71	0.14	0.91-0.50
ゴンペルツ曲線	麻酔なし	0.78	0.07	0.90-0.66
	麻酔あり	0.72	0.14	0.91-0.50

N = 11

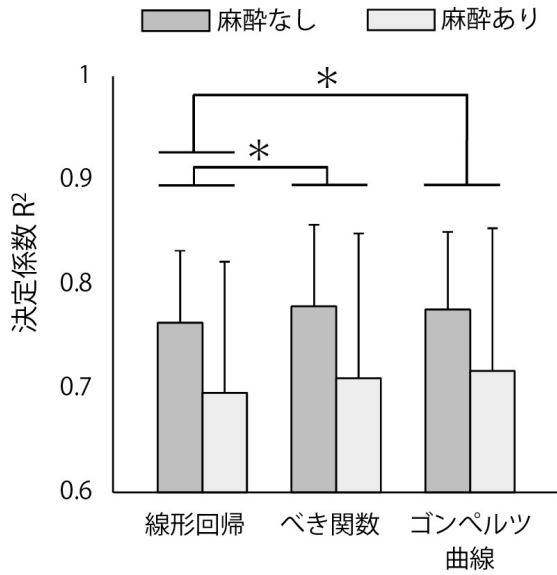


図2 決定係数 R<sup>2</sup> の比較

\*p < 0.001, Shaffer の MSRB (Modified Sequentially Rejective Bonferroni) 法による多重比較

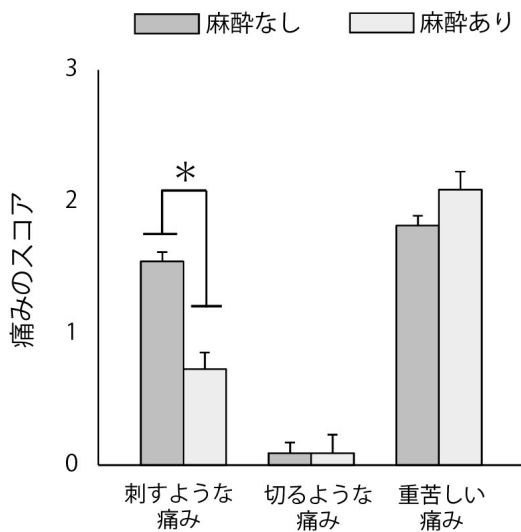


図3 McGill Pain Questionnaire

\*p < 0.05, Wilcoxon の符号付順位検定

## 4. 考察

### 4.1 回帰モデルへのあてはめ

本研究では筋への圧刺激と痛みの主観的強度との関係を回帰式でモデル化できるかを検証した。あてはめる関数には線形回帰、べき関数、ゴンペルツ曲線を用いた。それぞれの回帰式に対し R<sup>2</sup> を算出したところ、被験者平均で 0.78 ~ 0.70 と、いずれの回帰式でも高い相関を示した。このことは、先行研究<sup>2,3)</sup>で侵害熱刺激に対する痛みの強度がべき関数でモデル化できたように、圧刺激に対する痛みの強度も回帰式によるモデル化が可能であることを示している。

回帰式の種類に着目すると、僅かではあるが線形回帰よりもべき関数・ゴンペルツ曲線で有意に R<sup>2</sup> が高かった。一般に、ヒトの感覚系は非線形の特徴をもつと考えられていて、その感度は一定（線形）ではなく、与えられた刺激の強さによって異なる（非線形）とされている。実際、過去に様々な感覚がべき関数<sup>1)</sup>や S 字カーブ<sup>14,15)</sup>のような非線形関数に従うことが報告されてきた。線形回帰と非線形関数（べき関数・ゴンペルツ曲線）との R<sup>2</sup> の差は、圧刺激に対する痛みも他の感覚と同様に非線形の特徴を有することを支持している。

一方で、べき関数の R<sup>2</sup> とゴンペルツ曲線の R<sup>2</sup> との間には有意な差はみられなかった。ゴンペルツ曲線は左右非対称の S 字カーブであり、元々は年齢と死亡率の関係を表す関数として提唱された<sup>16)</sup>。べき関数との最も大きな違いは漸近線の数であり、べき関数が 1 本であるのに対し、ゴンペルツ曲線は上下 2 本を有する。そのため上限と下限が一定の値に収束するような現象を捉えるのに適している。回帰式の従属変数である痛みの強度の NRS は、0 から 10 の間の値をとる。そのためゴンペルツ曲線の方がべき関数よりもあてはめが良いと予測されたが、両者に差はなかった。この原因として、今回の研究では圧刺激の上限を被験者間で 40N に統一していた点が挙げられる。実際、被験者によっては麻酔あり条件で NRS の最大値が 6 に満たない者もいた。このため、ゴンペルツ曲線をあてはめた回帰式が 0 と 10 に収束せず、べき関数との明らかな差が生じなかったと推察される。

### 4.2 皮下麻酔による違い

本研究では、皮下麻酔を用いた純粋な筋への圧刺激によって生じた痛みも回帰式によるモデル化が可能かを検証した。分散分析の結果、R<sup>2</sup> に対する麻酔の主効果はみられず、麻酔と回帰式の種類の交互作用も認められなかった。

各条件の終了後に評価させた McGill Pain Questionnaire の比較では「刺すような痛み」のスコアが麻酔あり条件で有意に低かった。これは皮下麻酔によって皮膚の痛みの要素が除去され、痛みの質が変化したことを反映している。さらに Finocchietti らによると、前脛骨筋表面へ圧刺激を与えた場

合、筋組織への重圧は表皮のその約 80%に減衰するとされている<sup>17)</sup>。これらの効果によって、純粋な筋への圧刺激では麻酔なし時と比較して痛みの強度が低下し、心理物理曲線の右方シフトや、切片・傾き、勾配・漸近線の位置変化が生じる。しかしながら、これらの変化によって最もあてはめのよい関数は変化しなかった。純粋な筋への圧刺激による痛みでも、皮膚と筋両方への圧刺激による痛みでも、非線形関数によるモデル化が適していることが示された。

### 4.3 本研究の限界

本研究の限界として、線形回帰と非線形関数との間において  $R^2$  の差が僅かであったことと、被験者の中に麻酔あり条件で  $R^2$  が低くなった者がいたことは慎重に議論すべき点である。

これらの要因としては、第一に痛みの評価指標に NRS を用いた点が挙げられる。NRS は口頭で回答することのできる簡便な指標であり、痛みの強さを評価する指標の中では最も広く使用されている<sup>2)</sup>。本研究でも被験者に簡便かつ即時的な回答を促す目的で使用したが、Price らの先行研究では NRS よりも VAS (Visual Analogue Scale) による評価値の方がべき関数へのあてはめが良好であったことが報告されている。VAS が連続尺度であるのに対し、NRS は順序尺度であるため痛みの強さの細かな段階付けが困難である。このため回帰式による予測値と実測値に差が生じ、 $R^2$  が低く算出された可能性がある。

第二に、被験筋に対する個人差の影響が挙げられる。Finocchietti らは、圧刺激によっておこる筋の圧痛感度は、筋の硬さや表層の脂肪組織の厚さに影響されるとしている<sup>18)</sup>。脂肪組織が厚い者は皮下組織により強い応力が生じ、反対に筋組織への応力は脂肪組織に阻まれ低下する。今回の結果では特に麻酔あり条件の  $R^2$  について被験者間のばらつきが大きかった。本研究で被験筋に用いた腓腹筋は、脂肪組織の個人差が比較的大きな部位である。脂肪組織の個人差が筋への純粋な圧刺激の大きさに影響し、痛み強度の精度を低下させていたのかもしれない。この点を調整するためには脂肪組織の個人差が少ない筋を被験筋として用いる必要があるが、最近の報告では、前脛骨筋や橈側手根伸筋が用いられることが多い<sup>11,19)</sup>。

心理物理学研究の目的は、物理量と心理量の対応関係を明らかにすることである。このような実験手続き上で生じるバイアスを可能な限り調整することが、目的とする現象を正確に捉える上で重要となる。

### 5. 結語

実験的な痛み刺激として用いられる機械的圧刺激について、その刺激強度と痛みの強さとの関係を心理物理学的手法でモデル化できるか検証した。結果、皮膚と筋を同時に

刺激した場合でも、皮下麻酔を用いて筋へ純粋な圧刺激を加えた場合でも、非線形関数で良好にモデル化できることが明らかとなった。

主観的な感覚は、心理物理学的手法を用いることでより客観的に定義・測定することが可能となる。個人差の大きい「痛み」を操作的・実験的に扱うことができれば、痛みの神経生理学的研究や脳科学研究といった基礎研究の更なる発展に寄与できるだろう。

<利益相反について>

本論文内容に関連する利益相反事項はない。

(2018.2.2- 投稿, 2018.2.20- 受理)

---

### 文 献

- 1) Stevens SS. To Honor Fechner and Repeal His Law: A power function, not a log function, describes the operating characteristic of a sensory system. *Science* 133:80–6, 1961.
- 2) Price DD, Bush FM, et al. A comparison of pain measurement characteristics of mechanical visual analogue and simple numerical rating scales. *Pain* 56:217–26, 1994.
- 3) Price DD, McGrath PA, et al. The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain. *Pain* 17:45–56, 1983.
- 4) Lamington DTJ. The measurement of sensation. New York: Oxford University Press; 1997.
- 5) Kaernbach C, Schröger E, et al. Psychophysics beyond sensation: Laws and invariants of human cognition. *Psychophys. Beyond Sensat. Laws Invariants Hum. Cogn.* Hove: Psychology Press; 2003.
- 6) Koyama S. Application of psychophysics to neurology. *Brain Nerve - 神経研究の進歩* 60:463–9, 2008.
- 7) Nakamura M, Nishiwaki Y, et al. Prevalence and characteristics of chronic musculoskeletal pain in Japan. *J Orthop Sci* 16:424–32, 2011.
- 8) Graven-Nielsen T, Arendt-Nielsen L. Assessment of mechanisms in localized and widespread musculoskeletal pain. *Nat. Rev. Rheumatol.* page 599–606, 2010.
- 9) Graven-Nielsen T, Mense S, et al. Painful and non-painful pressure sensations from human skeletal muscle. *Exp Brain Res* 159:273–83, 2004.
- 10) Takahashi K, Taguchi T, et al. Influence of surface anesthesia on the pressure pain threshold measured with different-sized probes. *Somatosens Mot Res* 22:299–305, 2005.
- 11) Nie H, Arendt-Nielsen L, et al. Temporal summation of pain

- evoked by mechanical stimulation in deep and superficial tissue. *J Pain Churchill Livingstone*; 6:348–55, 2005.
- 12) Uematsu H, Shibata M, et al. Brain imaging of mechanically induced muscle versus cutaneous pain. *Neurosci Res* 70:78–84, 2011.
- 13) Nie H, Graven-Nielsen T, et al. Spatial and temporal summation of pain evoked by mechanical pressure stimulation. *Eur J Pain* 13:592–9, 2009.
- 14) Lindsay PH, Norman DA. *Human Information Processing: An Introduction to Psychology*. New York: Academic Press; 1972.
- 15) Stevens SS. *Psychophysics : introduction to its perceptual, neural, and social prospects*. Hoboken: John Wiley & Sons; 1975.
- 16) Winsor CP. The Gompertz Curve as a Growth Curve. *Proc Natl Acad Sci* 18:1–8, 1932.
- 17) Finocchietti S, Nielsen M, et al. Pressure-induced muscle pain and tissue biomechanics: A computational and experimental study. *Eur J Pain* 15:36–44, 2011.
- 18) Finocchietti S, Mørch CD, et al. Effects of adipose thickness and muscle hardness on pressure pain sensitivity: Correction. *Clin J Pain* 27:735–45, 2011.
- 19) Arendt-Nielsen L, Nie H, et al. Sensitization in patients with painful knee osteoarthritis. *Pain* 149:573–81, 2010.

# Psychophysics of Tonic Muscle Pain Induced by Mechanical Pressure Stimulation with Subcutaneous Local Anesthesia

Yoshiki MAEDA \* Hironobu UEMATSU\*\* Yoshitetsu OSHIRO\*\*\*  
Tetsuo KOYAMA\*\*\*\* Masahiko SHIBATA\*\*\*\*\*

---

\*Department of Health Science, NARAGAKUEN University. (3-15-1, Nakatomioka, Nara-shi, Nara, 631-8524, JAPAN )

\*\*Department of Anesthesiology and Intensive Care, Osaka University Graduate School of Medicine. (2-2 Yamadaoka, Suita, Osaka, 565-0871, JAPAN)

\*\*\*Division of Anesthesiology, Department of Surgery Related, Kobe University School of Medicine. (7-5-2 Kusunoki-cho, Chuo-ku, Kobe, Hyogo, 650-0017, JAPAN)

\*\*\*\*Department of Rehabilitation Medicine, Nishinomiya Kyoritsu Neurosurgical Hospital. (11-1 Yamanaka-cho, Imazu, Nishinomiya, Hyogo, 663-8211, JAPAN)

\*\*\*\*\*Donated course of Pain Medicine, Osaka University graduate school of medicine. (2-2 Yamadaoka, Suita, Osaka, 565-0871, JAPAN)

---

## Abstract

Pain is subjective and can be difficult to measure in an objective way. Here, we sought to demonstrate whether the magnitude of perceived pain induced by mechanical pressure stimulation could be modeled as predictive psychophysical equations based on stimulus intensity. Furthermore, using local anesthesia, we measured pure muscle pain without any accompanying cutaneous sensation.

Our study had a within-subject design. Thirteen healthy adults underwent both a “no anesthesia” and a “local anesthesia” condition. In each condition, we induced 7 different intensities of mechanical tonic pressure stimulation (10N-40N) via digital pressure algometry on the medial side of the right peroneal muscle. The participants rated the intensity of the subjective pain using a Numerical Rating Scale (NRS). With pressure intensity as an independent variable and NRS as a dependent variable, we defined three types of psychophysical regression models based on linear regression, a power function, and a Gompertz curve. For each equation, we calculated the coefficient of determination ( $R^2$ ) between the actual and predicted NRS scores to evaluate the fit to a series of data points.

The  $R^2$  was significantly higher for non-linear functions (the power function and Gompertz curve) compared with linear regression, with or without local anesthesia. Consistent with previous research, we found that the intensity of mechanical-pressure-induced pain could be modeled as a non-linear function of stimulus intensity.

Using a psychophysical approach, we were able to objectively define and measure an internal, subjective pain sensation.

---

**Key Word** : Psychophysics, Muscle Pain, Local Anesthesia

