微細表面粗さ弁別を可能にする触神経情報処理機構

○宮岡 徹 (静岡理工科大学・知能情報)

Touch Discrimination Ability of Humans for Fine Surface Textures

○Tetsu MIYAOKA

(Shizuoka Institute of Science and Technology)

触覚の機能は明確に分類しにくいと思われがちである。しかし、関与機械受容単位などを考慮すると、基本的には4種類程度に分けられると考えられる。すなわち、

- (1) 三次元形状の認識、
- (2) 数mm程度の粗い表面粗さの認識、
- (3) 1~数10 μm 程度の微細な表面粗さの認識、
- (4) 0.1~1 μm 程度の微小刺激存在の検出である。このうち(1)と(2)は感覚代行器設計などとの関連でよく調べられてきたが、視覚に比べパターン識別能力がかなり低いことが明らかとなった。この事実から、触覚系は精度の悪い感覚であるかのような印象を持たれることが多い。しかし、例えば(3)の能力については、他の感覚系に比べ触覚系が圧倒的に優れている。ただし、この能力についての研究はほとんどない。そこで本研究では、微細表面粗さ認識の絶対閾および弁別閾を測定し、どのような触神経情報処理機構がこの弁別を可能にしているのかを推測する。

(方法)

被験者：18~41才の男子9名、女子1名が実験に参加した。

刺激：精密研磨用フィルムを刺激として用いた。フィルム表面には酸化アルミニウム粒子が塗布されており、その粒子径から刺激は7種類に分けられた(1 μm :#8000, 3 μm :#4000, 5 μm :#3000, 9 μm :#2000, 12 μm :#1200, 30 μm :#600, 40 μm :#400)。粒子径がカタログ値を満たしていることは走査電子顕

微鏡(JM5400)により確認した。これらのフィルムを5cm×5cmの大きさにカットし、2枚ずつ組み合わせて12cm×18cmの台紙に貼り付けた上で、呈示用刺激として用いた。刺激の左右位置も考慮した結果、呈示用刺激は56種類となった。

実験手続き：被験者はアイマスクをかけ、台紙上の刺激表面に1本の指(示指または中指)で触れ、左右のフィルムのどちらを粗く感ずるかを二肢強制選択法により判断した。刺激表面に触れる回数および刺激上で指を動かす速度については、被験者の自由にまかせた。ただし1刺激の判断時間は15秒以内とし、15秒経過した時点で応答が得られない場合は被験者に警告を与えた。各被験者は1組の刺激につき10回の判断を行った。

(結果)

10名の被験者の結果は互いに類似していたので、すべての被験者のデータを各刺激ごとに平均した。便宜上、刺激の一方を標準刺激、他方を比較刺激として整理した。その結果の一例(標準刺激：9 μm)をFig.1に示す。図中の□印は比較刺激が標準刺激より粗いと判断された比率で、各点とも100回(10人×10回)の試行に基づく。また図中の縦線は標準偏差をあらわす。

粒子径3 μm の刺激は95%以上の確率で粒子径1 μm の刺激より粗いと判断された。以前に行われた宮岡・間野¹⁾の研究で、粒子径0.1 μm と1 μm の刺激の粗密の弁別が不可能

であったことを考慮すると、表面粗さ認識の絶対閾は $1\mu\text{m}$ と $3\mu\text{m}$ の間にあることになる。

標準刺激の粒子径が3, 5, 9, $12\mu\text{m}$ の場合は、それぞれ下弁別閾・上弁別閾を計算することが出来た。上下弁別閾を平均した平均弁別閾値はそれぞれ2.4, 2.5, 2.7, $3.3\mu\text{m}$ となった。

刺激の粒子径と平均弁別閾値からWeber比を計算すると、Fig. 2のようになった。一般的にいて、刺激強度がかなり強い部分ではWeber比は一定値となり、刺激が弱くなるとWeber比は大きくなるという傾向を示す。本実験の結果では、粒子径が小さくなるとWeber比が大となる傾向がはっきりみられ、絶対閾に近い部分まで測定されていると推定された。

(考察)

本実験から、ヒトが極めて微細な表面粗さの相違を区別できることがわかった。では、このような精密な判断を可能にする感覚情報処理機構とはいかなるものであろうか。

表面粗さを認識するためには、指を動かしながら刺激に触れなければならない。このことからまず考えられるのは、表面の凹凸を振動刺激とみなし、この時系列情報を神経インパルスパターンに変換して表面粗さを認識しているという仮説である。しかしこの仮説は、皮膚機械受容単位の神経発射能力および受容単位の分布密度を考慮すると不可能であることが明らかとなった。

結局宮岡は、微細表面粗さを認識する際には、刺激表面の凹凸の振幅情報のみが利用されるという仮説に到達した。

粒子径 $3\mu\text{m}$ の刺激ではWeber比は0.8、粒子径が $12\mu\text{m}$ では0.28であり、刺激-Weber比曲線は正に加速された単調減少関数となった(Fig. 2)。他方、振動刺激(25Hzと200Hz)を用いて強度(振幅)弁別閾を5~40dBSLの範囲に渡って測定したGescheiderら²⁾の実験によれば、Weber比は、5dBSLで約0.25~0.5程度、20dBSLで約0.15~0.3程度となった。

本実験における粒子径 $3\mu\text{m}$ の刺激の大きさは10dBSL以下であると考えられる。このことに配慮しつつ本実験の結果とGescheiderらの結果を比較すると、同一感覚量レベルでは、表面粗さ認識のWeber比は振動振幅弁別の際のWeber比よりやや大きい程度の値となる。触覚系が刺激の振幅情報を用いて表面粗さ判断を行っているなら、微細な表面粗さを弁別することは可能である。

触覚系は低域通過型のフィルタ特性を持っており、数百Hz以上の周波数情報は利用できない。触覚系は、このフィルタを通過した情報のうち振幅情報のみを用いて微細な表面粗さ弁別を行っているものと推定される。

(文献)

- 1)宮岡他：名大環研年報, 42, 249, 1991.
- 2)Gescheider et al.: J. A. S. A., 87, 330, 1990

Fig. 1

Fig. 2