

マイスナー小体の空間配置についての考察

○星 貴之, PHAM QUANG TRUNG, 田中 由浩, 佐野 明人 (名古屋工業大学)

Consideration of Spatial Configuration of Meissner Corpuscles

○Takayuki HOSHI, Pham Quang TRUNG, Yoshihiro TANAKA, and Akihito SANO (NITech)

Abstract: Meissner corpuscles inside a fingertip are surrounded by a microstructure related to friction ridges. The effects of the microstructure were usually analyzed by using two-dimensional models. In this paper, the three-dimensional configuration of the microstructure is reviewed and discussed focusing on the relation with Meissner corpuscles.

1. はじめに

指先における触覚の感度および空間分解能は、他の部位と比較して突出して優れている [1]. これは機械受容器の密度が高いことにより説明されるが、それに加えて指紋や皮膚内部構造が貢献しているとの報告もある. Prevost ら [2] は指紋がテクスチャ知覚に与える影響を調べた. 指紋の凹凸がテクスチャの凹凸に当たるよう指を動かしたとき高周波の振動が強く励起されることが示され、それによってパチニ小体が効果的に刺激されると述べられている. また前野ら [3] は指紋と直交する断面について、指紋と皮膚内部構造を再現した二次元有限要素モデルを用いて力学的解析を行った. これにより各機械受容器への応力集中や、せん断力によって隣り合うマイスナー小体に加わる応力に差が生じることを示している.

ところで二次元有限要素モデルは奥行方向に一様な構造であることを仮定したものであり、その点で実際の皮膚内部構造とは差異がある. 本稿では皮膚内部構造を三次元的にとらえ、その機能について考察する. 特に、皮膚内部構造の中に位置し、その影響を大きく受けるマイスナー小体に注目する.

2. 過去の知見

本章では、考察のもととなる過去の知見についてまとめる. 皮膚内部構造として、表皮と真皮がなす凹凸構造を考える. Fig. 1 に模式図を示す. 表皮は真皮より弾性率が高いことが知られている [3].

指先の発生過程において、指紋と皮膚内部構造、およびマイスナー小体はそれぞれ異なる時期に形成される [4][5][6]. 最初は表皮と真皮の間に凹凸はなく、

- (1) 乳頭間溝 (Primary ridges)
- (2) 稜間溝 (Secondary ridges), 汗腺, 皮膚小稜 (指紋)
- (3) 真皮乳頭 (Dermal papillae)
- (4) マイスナー小体

の順に形成される.

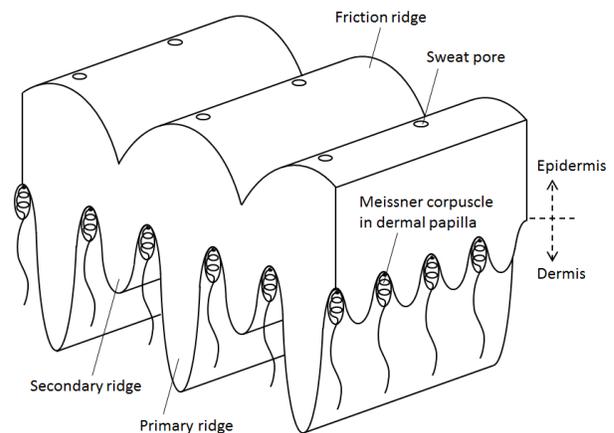
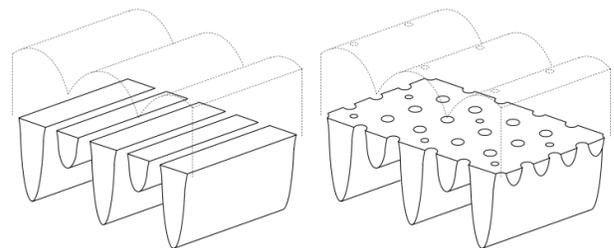


Fig. 1 Illustration of microstructure under skin of fingertip.



(a) Assumption in 2D model. (b) Actual 3D configuration.
Fig. 2 Horizontal cross sections including dermal papillae.

乳頭間溝、稜間溝、指紋は互いに平行な線状の構造である. 一方、真皮乳頭は汗腺の周囲に配置された円筒状の窪みである [7][8]. マイスナー小体はその中に、コラーゲン繊維に囲まれた状態で配置されている.

マイスナー小体の神経支配は、他の機械受容器とは異なる複雑なものとなっている [9]. 一本の神経軸索が複数本に分岐し、そして複数個の異なるマイスナー小体に入り込む. また一個のマイスナー小体には複数本の神経軸索が入り込んでいる. 筆者らが調べた限りでは、この神経支配による効果について説明した研究は報告されていない.

3. 考察

本章では前章の知見を踏まえ、皮膚内部の三次元構造を想定したときに考えられる問題について議論する。

3.1 力学的特性

表皮は乳頭間溝において特に厚い。指紋と垂直な方向には乳頭間溝が断続的に表れるのに対し、平行な方向には（汗腺はあるものの）一様な厚さのままである。これによって指紋に平行な方向には曲がりにくいという、強度の異方性が生じている可能性がある。

また、マイスナー小体が配置されている真皮乳頭は円筒形の構造であり、指紋と平行な方向に断続的に存在している (Fig. 2)。これは乳頭間溝と稜間溝の間にスパーサが挿入されたときとみなすことができ、皮膚表面に平行な応力に抗するように働くと考えられる。

3.2 神経支配

発生過程においてマイスナー小体が形成される時点で乳頭間溝は形成されている。神経軸索は皮膚の深部から表面に向かって進み、真皮乳頭に入る。

前章で述べたように、一本の神経軸索は複数本に分岐し、また一個のマイスナー小体には複数本の神経軸索が接続している（以降「混交」と呼ぶ）。これが乳頭間溝を越えて行われるとは考えにくい。すなわち神経支配の混交は指紋に平行な一列、広がりを持つとしても稜間溝を挟む二列に限定されるであろう。

上記のことは未確認であるが、もしこれが真であった場合、神経支配の混交が一次的であることに何らかの意味が見いだせると興味深い。例えば、接触中心を推定する問題について以下のようなことが言える。マイスナー小体は触刺激が入ると神経パルスを出す。一個のマイスナー小体に一本の神経軸索が接続している場合には、反応したマイスナー小体のうち中央にいるものの位置が接触中心と推定される。一方、神経支配が混交している場合、一本の神経軸索には反応したマイスナー小体の個数がパルス数としてコードされる。各神経軸索に接続するマイスナー小体が少しずつ異なるため、接触中心をパルス数の比率から求めることができる (Fig. 3)。もし反応の有無よりパルス数のほうが神経情報処理に適していれば、上記の作用は神経支配が混交していることの利点となりうる。

4. おわりに

本稿では皮膚内部の三次元構造とマイスナー小体の関係について考察した。ここで述べたことは現段階では問題提起と仮説にとどまっている。今後、解析や実験、観察などにより解明していく予定である。

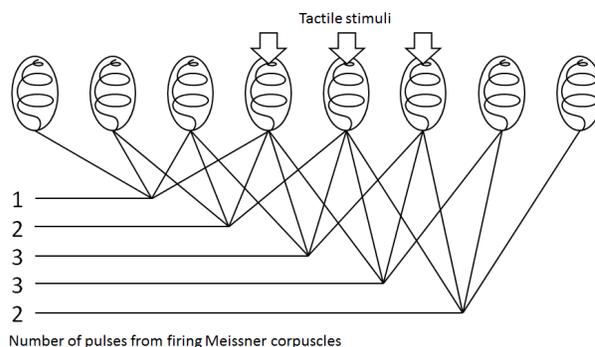


Fig. 3 Hypothesis. Number of firing Meissner corpuscles are coded into number of pulses in each nerve fiber.

参考文献

- [1] 岩村吉晃: タッチ, 医学書院, 2001.
- [2] A. Prevost, J. Scheibert, and G. Debrégeas: Effect of fingerprints orientation on skin vibrations during tactile exploration of textured surfaces, *Communicative & Integrative Biology*, vol. 2 (5), pp. 422-424, 2009.
- [3] 前野隆司, 小林一三, 山崎信寿: ヒト指腹部構造と触覚受容器位置の力学的関係, *日本機械学会論文集 (C編)*, vol. 63 (607), pp. 881-888, 1997.
- [4] M. Okajima: Development of dermal ridges in the fetus, *Journal of Medical Genetics*, vol. 12 (3), pp. 243-250, 1975.
- [5] K. Wertheim: Embryology and morphology of friction ridge skin, *The Fingerprint Sourcebook*, chap. 3, <http://www.nij.gov/pubs-sum/225320.htm>, 2011.
- [6] W.E. Rhenan and B.L. Munger: The development of Meissner corpuscles in primate digital skin, *Developmental Brain Research*, vol. 51 (1), pp. 35-44, 1990.
- [7] N. Cauna and G. Mannan: Organization and development of the preterminal nerve pattern in the palmar digital tissues of man, *The Journal of Comparative Neurology*, vol. 117 (3), pp. 309-327, 1961.
- [8] Z. Halata and K.I. Baumann: Anatomy of receptors, *Human Haptic Perception: Basics and Applications*, chap. 6, 2008.
- [9] M. Paré, A.M. Smith, and F.L. Rice: Distribution and terminal arborizations of cutaneous mechanoreceptors in the glabrous finger pads of the monkey, *Journal of Comparative Neurology*, vol. 445 (4), pp. 347-359, 2002.