

OCTを用いた複数汗腺における精神性発汗ダイナミクスの同時追跡

谷川基務 三枝裕之 近江雅人 春名正光

大阪大学大学院医学系研究科保健学専攻

はじめに

我々は光コヒーレンストモグラフィ(OCT)を用いてヒト指先におけるエクリン汗腺の精神性発汗ダイナミクスの動態解析に取り組んでいる^{1), 2)}。OCTにより角層内における汗腺のらせん状ダクトが鮮明にイメージングでき、外部刺激に反応して汗がダクト内に汲み上げられる様子を詳細に観察できる^{3), 4)}。

本論文では、OCTを用いた複数汗腺の同時観察手法について示す。次に、本手法を用いた複数汗腺の外部刺激に対する精神性発汗ダイナミクスの同時追跡および解析結果について述べる。

複数汗腺の同時観察手法

実験に用いた装置は光軸方向分解能 $12\mu\text{m}$ の光周波数掃引型OCT(SS-OCT)であり、本装置は25~50フレーム/秒でOCTを取得できる。図1に複数汗腺の同時観察手法について示す。OCTイメージサイズは $2.0\times 1.5\text{mm}^2$ 、ピクセルサイズは $12.5\times 5.9\mu\text{m}^2$ である。図1(a)に示すように、ヒト指先の指紋に平行(x方向)に光を走査しOCTを取得する(図1(b))。OCTイメージより、皮膚表面と角層より深部の信号を除去する(図1(c))。このOCTを指紋に垂直(y方向)に 1.6mm にわたり $12.5\mu\text{m}$ 間隔で128枚取得する。取得に要する時間は3.3秒である。取得したOCTを図1(d)のようにy方向に配置する。配置したOCTを、図1(e)のように皮膚表面に平行にスライスし、これを深さ方向(z方向)に沿って順次構築する。これらのイメージの各ピクセルにおける反射光強度を積算し、図1(f)のようなイメージを作成する。これにより、角層内における汗腺の三次元構造が反映されたイメージを取得できる。

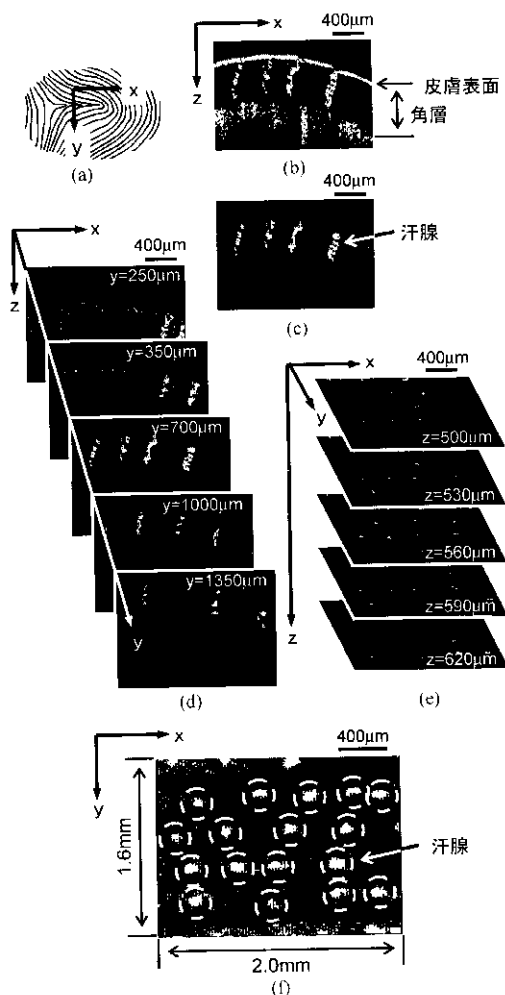


図1 複数汗腺の同時観察手法

- (a) ヒト指先の模式図(指紋)
- (b) 一枚のOCTイメージ
- (c) 皮膚表面と角層より深部の信号を除去
- (d) 指紋に垂直(y方向)にOCTを配置
- (e) 皮膚表面に平行(z方向)にスライス
- (f) 積算したイメージ

今回は $2.0\times 1.6\text{mm}^2$ の範囲を取得した。図1(f)のイメージでは、指紋4列にわたり17本の汗腺が指紋に沿って並んでいる様子を明瞭に観察できる。このように、3.3秒のデータ

取得時間で広範囲にわたる複数汗腺の同時追跡が可能になった。

複数汗腺の精神性発汗ダイナミクスの同時追跡

実験では、ヒト指先における汗腺の音刺激に対する精神性発汗ダイナミクスを取得した。ヒト指先 $2.0 \times 1.6 \text{ mm}^2$ の範囲に存在する複数汗腺を同時追跡した。被験者は23歳男性の健常者で、左手中指先端部を測定部位とした。フレーム間隔は3.3秒であった。今回、指紋4列にわたり19本の汗腺を同時追跡した。被験者の安静状態として、汗腺ダクトにおける反射光強度が低いことを確認し、実験を開始する。50秒後に音刺激として90dBで0.5秒間の不快音を与え、その後250秒にわたりダイナミクスを取得した。

図2に実験タイムチャートと時系列イメージの一部を示す。どのイメージにおいても $2.0 \times 1.6 \text{ mm}^2$ の範囲に存在する19本の汗腺を明瞭に観察できる。安静状態①0.0秒のイメージと比較して、③62.7秒のイメージでは多くの汗腺で反射光強度が増加しているのがわかる。また、その後のイメージで徐々に安静状態の強度に戻る様子も確認できる。

イメージにおける汗腺ダクトの反射光強度を積算することで、ダクト内に蓄えられる瞬時発汗量を見積もることができる⁵⁾。図3(a)に62.7秒におけるイメージ、図3(b)、(c)に隣接する汗腺A3、A4における瞬時発汗量の時間変化をそれぞれ示す。どちらの汗腺も音刺激に反応して汗腺ダクトに汗が蓄えられていくが、瞬時発汗量の大きさや反応時間には違いがある。

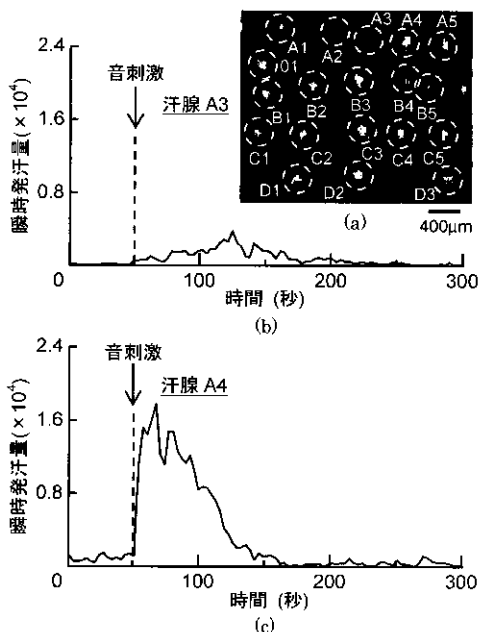


図3 瞬時発汗量の時間変化
(a) 62.7秒におけるイメージ
(b) 汗腺A3における瞬時発汗量の時間変化
(c) 汗腺A4における瞬時発汗量の時間変化

それぞれの汗腺における発汗量の大きさを評価するために、音刺激を与えた後200秒間にわたり、瞬時発汗量を時間積分した。結果を図4に示す。図3で示した汗腺A3とA4を比較すると、明らかに汗腺A4の発汗量大きい。また、汗腺D2は他の汗腺と比較して値が大きいが、これは音刺激に関わらず常に汗腺ダクト内に汗が蓄えられていた汗腺である。このように、隣接する19本の汗腺において、音刺激に対して不均一に発汗しているのがわかる。

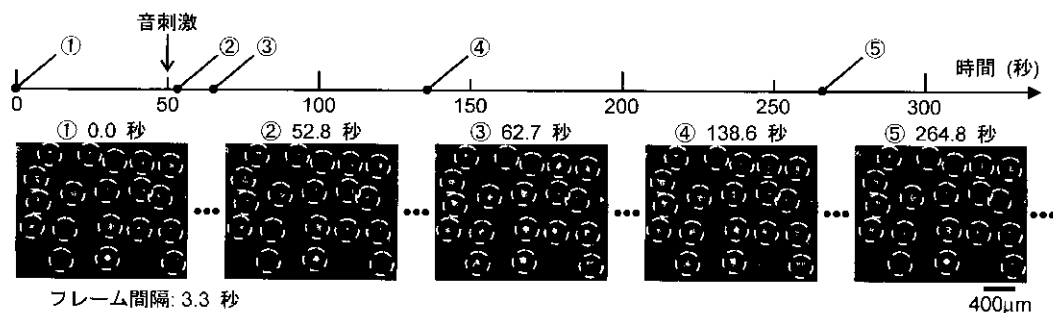


図2 音刺激に対する精神性発汗ダイナミクスの時系列イメージ

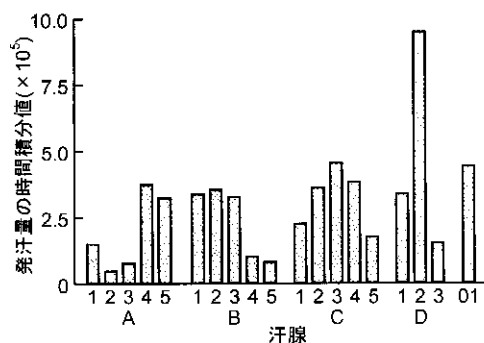


図4 発汗量の時間積分値

考 察

本論文では、OCTによる精神性発汗ダイナミクスの解析として、広範囲 ($2.0 \times 1.6 \text{ mm}^2$) における複数汗腺の同時観察手法について提案した。本手法を用いて、音刺激に対する複数汗腺の精神性発汗ダイナミクスを同時追跡した。その結果、隣接する汗腺での音刺激に対する発汗量が不均一であることが明らかになった。

本手法はCCDカメラによる観察と比較して、それぞれの汗腺における発汗量の時間変化を定量的に測定できるという利点がある。また、今回の実験は昼食前に行ったものであり、これは交感神経活動がある程度興奮状態

にあることを示している。今後は、発汗の不均一性が交感神経活動の状態にどのように影響されるかなど、不均一性に関する詳細な検討を行っていく予定である。

文 献

- 1) Haruna M, Ohmi M, Ueda Y et al: Dynamic analysis of eccrine sweat glands on human fingertips by optical coherence tomography. Proc of SPIE, 6847, 68471Y-1 - 68471Y-5, 2008
- 2) 上田悦弘, 近江雅人, 春名正光: 光コヒーレンストモグラフィを用いたヒト指汗腺の動態観察. 発汗学, 14, 2-6, 2007
- 3) Saigusa H, Ueda Y, Yamada A et al: Maximum-intensity-projection imaging for dynamic analysis of mental sweating by optical coherence tomography. Appl Phys Express, 1, 098001, 2008
- 4) Ohmi M, Tanigawa M, Yamada A et al: Dynamic analysis of internal and external mental sweating by optical coherence tomography. J Biomedical Optics, 14(1), 014026 - 1-7, 2009
- 5) 谷川基務, 山田晃寛, 上田悦弘 その他: 光コヒーレンストモグラフィ (OCT) を用いた発汗測定方法. 発汗学, 16, 13-16, 2009