多波長走査型干渉顕微鏡を用いた広視野 in-vivo 蝸牛基底板の振動計測

Wide-field *in-vivo* vibration measurement using multifrequency swept OCM

新潟大工 [1]，新潟大医 [2]　○崔　森悦 [1,3]，任文 晃 [2,3]，太田 岳 [2,3]，佐藤 敬太 [2]，　日比野 浩 [2,3]

Faculty of Engineering, Niigata Univ. [1], Dep. of Molecular Physiology, Niigata Univ.[2], AMED-CREST, AMED[3], ◦Samuel Choi[1,3], Fumiaki Nin[2,3], Takeru Ota[2,3], Keita Sato[1], Hiroshi Hibino[2,3]

E-mail: schoi@eng.niigata-u.ac.jp

聴覚の端緒である蝸牛感覚上皮帯は 1～100 kHz，サブナノレベルの振幅で振動する．これまで，ブラックボックスであった蝸牛内の音波による振動様態を解明し，難聴の克服に貢献するために，Doppler spectral domain(SD-) OCT などの非侵襲で高精細な光生体計測技術が用いられてきた[1]．しかし，従来の Doppler SD-OCT では空間的な振動分布の広範囲計測のために，深さ方向のスキャン速度が振動周波数に対してサンプリング定理を満たす必要があり，さらに，横方向のスキャンも，振動の初期位相の空間的な同期を保証しなければならない．これらの高速化は照射の露光量を減らす結果をもたらし，反射率 0.02~0.04% [2]の感覚上皮帯の可視化を困難にする．

本研究では，先行研究で開発した広視野一括断層振動撮像可視化装置 [3]を改良し，光源として supercontinuum(SC)光の導入と，広視野ヘテロダイン法[4]の改良により，低周波ノイズの影響を受けにくい振動パラメータの定量化を実現した．

図 1 に構築した MS *en-face* OCT 顕微鏡を示す。光学系は作動距離 200 mm の対物レンズと自製のマイケルソン型偏光干渉計によって構成され，SC 光とファブリ―ペロー共振器の組み合わせにより 600~950 nm の広帯域な多波長光を生成した．測定対象への照射パワーは最大 37 mW まで向上し，高速度 CMOS カメラによる蝸牛感覚上皮帯組織の可視化が可能となった．OCT 計測は光源の多波長走査によって行われ，深さ分解能は約 3.5 μm であった．図 2 に生きたモルモットの 3 次元の蝸牛感覚上皮帯 OCT 画像を示す．

広視野振動計測では，23kHz の音波を鼓膜に印加した状態の感覚上皮帯の振動を計測した．干渉計の参照ミラーを，周波数 170 Hz と音波の周波数より 80Hz 高い周波数の２つの正弦波によって振動させ，感覚上皮帯の振動との差周波数を 250Hz とし，2000fps の高速度カメラのフレームレートの 1/8 になる様に設定することで，ヘテロダイン干渉信号を全ピクセル（full-field）で取得した．図 3 に音圧 85dB の音刺激に対する生きた状態の感覚上皮帯振動分布（振幅及び位相）を示す．本装置の計測によって生きている状態と死んだ状態の動物における感覚上皮帯振動様態の有効な差異について比較検討を行った．

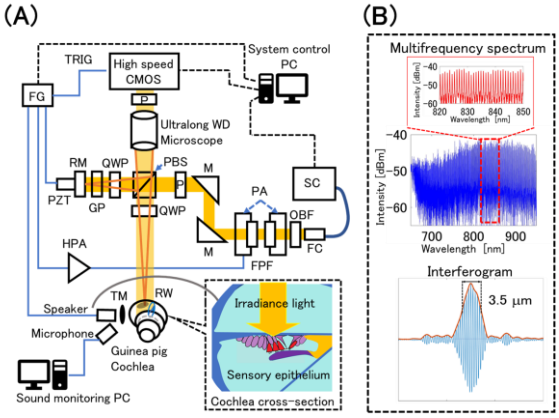

Fig.1 (A) Setup. (B) Spectrum and interferogram of light source

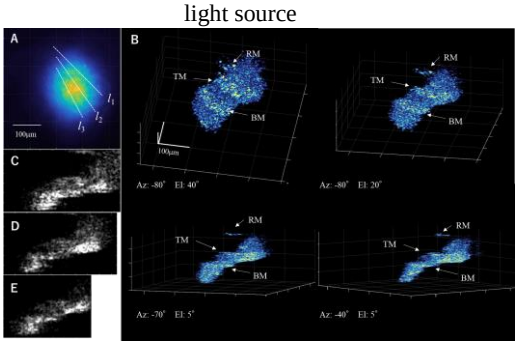

Fig. 2 Result of 3D-OCT of the sensory epithelium

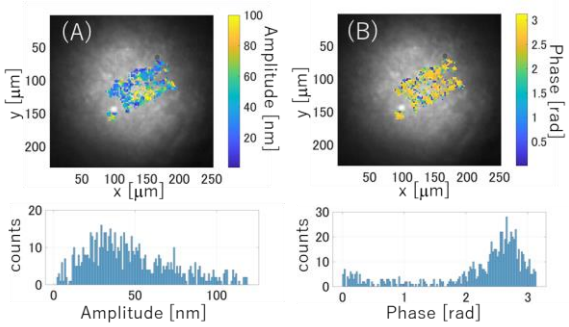

Fig. 3 Vibration distributions and histograms of (A) amplitude and (B) phase of the sensory epithelium

参考文献

[1] S. S. Gao, et. al., Biomed. Opt. Express 4(2), 230–240 (2013)
[2] S. M. Khanna, et. al., Acta Otolaryngol. Suppl. 108 (s467), 69–75 (1989).
[3] S. Choi, et. al., Biomed. Opt. Express, 8(2), 608-621 (2017).
[4] S. Choi, et. al. Opt. Commun. 356, 343–349 (2015).

謝辞

本研究は，AMED-CREST, AMED (JP17gm0810004)及び科研費(16H03164)によって行われた．