

近赤外光を用いた時間領域測定によるヒト脳光学パラメータ変化検出感度

- 脳髄液の検出感度への影響 -

Sensitivities of Times-Resolved Measurement in Near Infrared Light for Detecting Optical Parameter Changes in An Adult Head Model

- Sensitivities dependence on Cerebrospinal Fluid Thickness -

青木 伸雄[†] 谷藤 忠敏[†]
Nobuo Aoki Tadatoshi Tanifuji

1. はじめに

波長 0.7-1 μm の近赤外光は数 cm 程度までは生体を透過する。この波長帯における酸化および還元ヘモグロビンの光吸収スペクトルの特異性を利用して、ヒト脳の診断を行う拡散光トモグラフィ (Diffused Optical Tomography :DOT) 実現の可能性が指摘されている^[1]。本報告は FDTD 法^[2]による時間領域ヒト脳光パルス伝搬解析法^[3]を用いた、時間領域と連続光測定によるヒト脳内の光学パラメータ変化の検出感度の脳髄液厚み依存性を検討した結果を述べる。

2. ヒト脳モデルと後方散乱光パルス伝搬解析

ヒト脳は図1に示すように、頭蓋骨と灰白質の間に非散乱体である脳髄液 (CSF) が介在するため、光拡散方程式をそのまま使用することが出来ない^[4]。このため、ヒト頭部解析が可能な FDTD 法^[3]により後方散乱光パルス波形を計算した。本検討では、図1に示すようにヒト脳2次元4層モデル^[5]の各層を、幅が 10mm の単位領域に分割し、脳の各単位領域の光吸収係数が変化した場合の後方散乱光パルス波形変化と連続光の後方散乱光パワ変化から脳内光吸収係数変化検出感度の CSF 厚み依存性を検討した。解析で用いた各層の光学パラメータ^[5]を図1に示す。また、散乱体及び CSF の屈折率はそれぞれ 1.56 及び 1.46 と仮定し、CSF 境界と頭皮表面における反射の影響は考慮した。

3. 検出感度の光源・検出器間隔依存性

図2(a)及び(b)は、それぞれ CSF 厚みが 2 mm 及び零 (CSF 無し) の場合について、灰白質の左端から 40~50mm にある単位領域の光吸収係数 (μ_a) が 0.035(mm^{-1})に増加したときの後方散乱光パルス波形変化と連続光の後方散乱光パワ変化の光源・検出器間隔 (d) 依存性を示す。パルス波形変化は、ピーク値から 10~30 dB 低下した時刻の振幅変化により算出した。図から CSF が有る場合は、 $d = 25\text{mm}$ 程度で最大検出感度が得られている。これに対して、CSF が無い場合は、ピーク値からの相対振幅が小さくなるに従って最大検出感度を与える d が小さくなるのがわかる。図3(a)及び(b)は、白質の μ_a が 0.015(mm^{-1})に増加した場合の変化検出感度を示す。図から CSF が有る場合は、 $d = 30\text{mm}$ 程度で最大検出感度が得ら

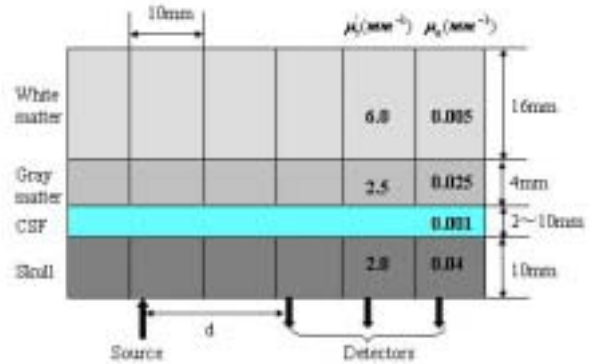
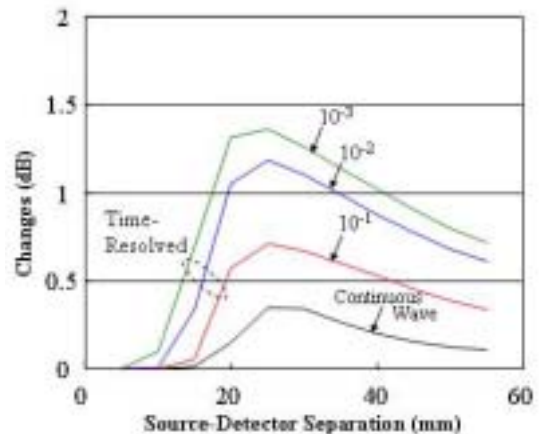
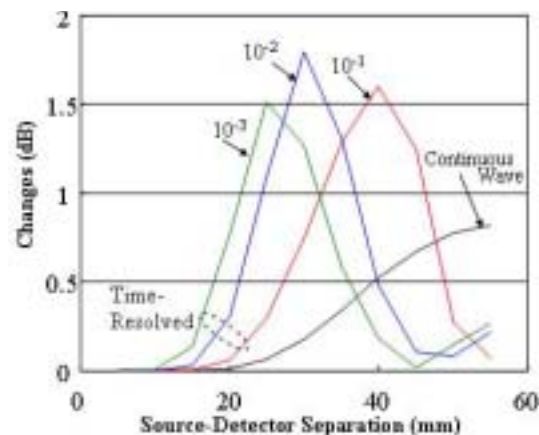


図1 ヒト頭部モデル

図2(a) 灰白質の μ_a 変化と受信信号強度変化(CSF有り)図2(b) 灰白質の μ_a 変化と受信信号強度変化(CSF無し)

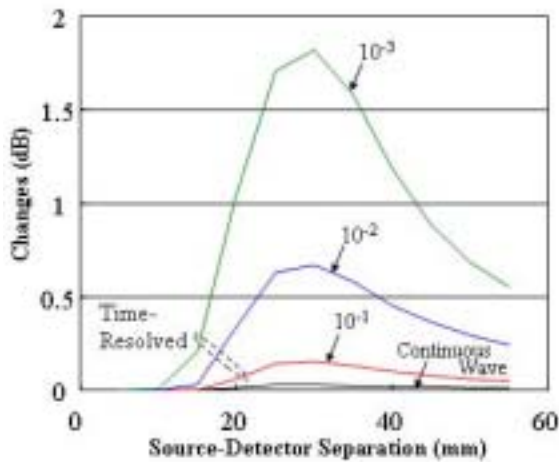


図3 (a) 白質の μ_a 変化と受信信号強度変化(CSF 有り)

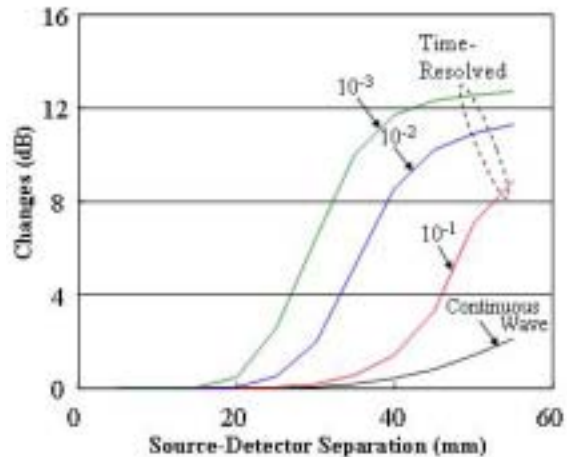


図3 (b) 白質の μ_a 変化と受信信号強度変化(CSF 無し)

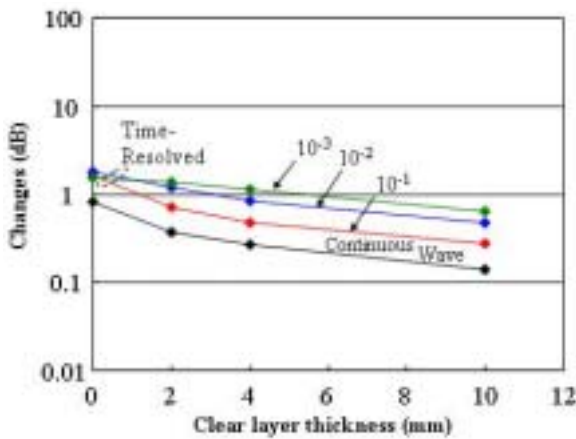


図4 (a) 灰白質の最大感度のCSF厚み依存性

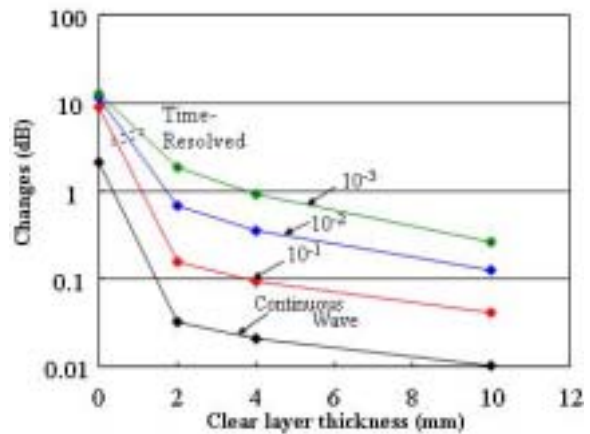


図4 (b) 白質の最大感度のCSF厚み依存性

れている。これに対して、CSFが無い場合は、 d が大きくなるに従って変化検出感度が大きくなり最大検出感度を与える d は60mm以上と推察される。

4. 検出感度の脳髄液厚み依存性

CSF厚みが4及び10mmの場合についても図2(a)及び図3(a)と同様な計算を行い、検出感度のCSF厚み依存性を見積もった。なお、最大感度はピーク値近傍の3点に2次関数をあてはめることで算出した。

図4(a)及び(b)は、灰白質及び白質の最大感度を与える d を選択したときのCSF厚み依存性を示す。図4(a)から灰白質の μ_a 変化による検出感度はCSF厚みの増加に伴い減少することが分かる。これは、CSF厚みが大きくなるに伴い、CSF片面の点から見た対面のYee格子の立体角がCSFの2乗に反比例することに起因すると思われる。図4(b)も図4(a)と同様の傾向にあるが、感度のCSF厚み依存性はより顕著になっている。このためCSF厚みが4mm以上になると時間領域の検出の限界に近づく。

5. まとめと今後の課題

CSFが有る場合は最大検出感度を与える d はピーク値からの相対振幅依存性はCSFが無い場合に比べ小さい。また、灰白質及び白質の μ_a 変化による検出感度はCSF厚みの増加に伴い減少することが分かった。

今後は、時間領域DOTによるヒト脳内部の等価散乱係数も含めた光学パラメータ推定性能を検証する。

謝辞

本研究の一部は科研費(21560425)の助成を受けた。

参考文献

- [1]M. Fabiani *et al.*, IEEE Eng. in Med. and Biol. Mag., Vol.26, No.4,2007..
- [2]Tanifuji *et al.*, IEEE Trans. TMI, vol. pp.181-184, 2002.
- [3]西尾他, FIT'10, G-008, 2010.
- [4]M. Firbank *et al.*, Med. Phys. Biol., vol. 41, pp. 767-783, 1996.
- [5]E.Okada *et al.*, Appl. Opt. vol.36, pp.21-31, 1997.