بررسی حساسیت دستگاه طیف سنجی مادون قرمز نزدیک عملکردی (fNIRS) به تغییرات ضریب جذب در فانتوم مشابه بافت مغز انسان

مهرداد زارعی، صدرالدین محمود کلایه، محمد علی انصاری[1*]

چکیده

یکی از روش‌های جدید تصویربرداری از مغز، روش طیف سنجی فروسرخ نزدیک (FNIRS) می‌باشد که با این روش می‌توان عملکرد کورتکس مغز حین فعالیت‌های مغزی و شناختی را بررسی نمود. با بررسی تغییرات زمانی شدت فوتون‌های آشکارسازی شده در روی سطح پیشانی می‌توان تغییرات سطح تپ‌های همودینامیک کورتکس مغز را اندازه‌گیری نمود. در این مقاله حساسیت دستگاه FNIRS ساخته شده در آزمایشگاه تصویر برداری بیولوژیک نوری به تغییرات ضریب جذب که وابسته به تغییرات تپ‌های همودینامیک در فانتوم است را اندازه گیری می‌کنیم. نتایج تجربی روی فانتوم مشابه مغز انسان نشان می‌دهد که این سامانه لیزری قادر به تشخیص و تفکیک تغییرات جذب در عمق یک سانتی متری نمونه نسبت به موقعیت منبع و آشکار ساز می‌باشد.

کلمات کلیدی: طیف سنجی مادون قرمز، تغییرات ضریب جذب، فانتوم مشابه بافت مغز انسان

مقدمه

در ناحیه فروسرخ نزدیک، بین ۶۵۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر، ضریب جذب کروموفورهای اصلی جاذب نور در بافت‌های بیولوزیک پائین است و امکان نفوذ بیشتر نور درون بافت مهیا شده است. در این پنجره نوری می‌توان توسط اندازه‌گیری تغییرات میزان شدت نور خروجی از بافت، غلظت این کروموفورها مانند هموگلوبین، اکسی-هموگلوبین و یا آب را با دقت خوبی اندازه‌گیری نمود[۱-۲]. همان‌طور که می‌دانیم ثبت تغییرات تپ‌های همودینامیک (مثل تغییرات همواکسی) در بافت اطلاعات فیزیولوژیک مناسبی از بافت ارائه خواهد کرد. در روش تصویربرداری فروسرخ نزدیک عملکردی (fNIRS) با ثبت تغییرات غلظت‌های همواکسی وابسته به تغییرات عملکرد مغز حین فرآیندهای شناختی مثل تفکر، استرس، توجه و ... می‌توان به بررسی کارکرد بخش‌هایی از مغز در نوزادان و بزرگسالان پرداخت و اکنون حدود دو دهه است که از این روش برای بررسی عملکرد مغز در نوزادان و بزرگسالان پرداخته می‌شود[۲].

باید توجه نمود که تغییرات اندک غلظت اکسی-هموگلوبین (در حدود μM) در عمق بین ۲-۱ cm زیر پوست سر انسان در ناحیه کوچکی اتفاق می‌افتد لذا سامانه fNIRS باید قادر باشد تا این تغییرات را در محیط پراکننده مغز شناسایی کند. لذا یکی از اهداف

۱. آزمایشگاه تصویربرداری بیولوژیک نوری، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، ولنجک میدان شهید شهریاری، تهران

تصویربرداری fNIRS یافتن موقعیت تغییرات غلظت-های اکسی و دی‌اکسی هموگلوبین در بافت مغز می‌باشد. این کار مستلزم آن است که تغییرات چگالی نوری، ΔOD، طبق رابطه ۱ حین انتشار نور لیزر در بافت مغز به دقت اندازه‌گیری شود[۳]:

$$\Delta OD = \log_{10}(\varphi_0 / \varphi) \qquad (۱)$$

که φ_0 و φ به ترتیب تپ‌های fNIRS در حالت بدون تغییرات غلظت و حالتی است که تغییر غلظت رخ داده است.

برای بررسی حساسیت سامانه لیزری fNIRS ساخته شده در آزمایشگاه تصویربرداری بیولوژیک نوری از فانتوم‌های مشابه بافت مغز انسان استفاده می‌کنیم (شکل ۱ و ۳). این فانتوم‌ها از جنس اپوکسی رزین و با خواص نوری مشابه بافت مغز انسان ساخته شده‌اند. ضرایب جذب μ_a و پراکندگی کاهش یافته μ_s' آن‌ها اندازه-گیری شده و در جدول ۱ ارائه شده است.

شکل ۱: نمائی از دستگاه fNIRS لیزری ساخته شده در آزمایشگاه تصویربرداری بیولوژیک نوری پژوهشکده لیزر و پلاسما.

مواد و روش‌ها

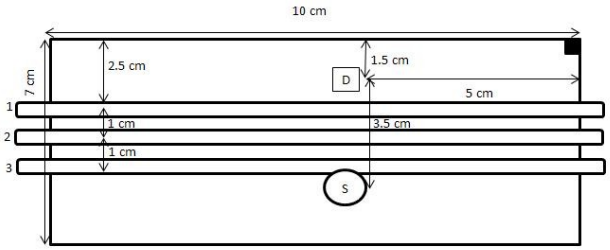
فانتوم‌ها برای شبیه سازی انتشار نور درون بافت به کار می‌روند و به همین جهت خواص نوری مشابه بافت دارند. به طور کلی فانتوم‌های مشابه بافت اغلب برای ۳ هدف: شبیه سازی توزیع نور با هندسه‌ای از بافت فیزیکی، کالیبراسیون دستگاه‌های اپتیکی و برای ثبت کردن یک اندازه‌گیری مرجع با یک دستگاه اندازه‌گیری اپتیکی به کار می‌روند[۴]. در این کار ما از رزین اپوکسی استفاده می‌کنیم چون که شفاف بوده و به کمک آن می‌توانیم مقدار جذب و پراکندگی مورد نظر را تهیه کنیم. برای جذب و پراکندگی از رزین پلی استر مشکی و رنگ سفید رزین استفاده می‌کنیم. پارامترهای اپتیکی فانتوم تهیه شده در جدول ۱ آمده است که این پارامترها با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شده‌اند[۵]. برای ایجاد تغییرات در فانتوم از لوله‌های سیلیکونی با قطر ۵ میلی متر استفاده می‌کنیم که ترتیب قرار گرفتن لوله‌ها در شکل ۲ برای فاصله‌های مختلف در عمق یک سانتی متری به ترتیب از بالا به پائین آمده است. محلولی از جوهر با ضرایب جذب مشخص که در جدول ۲ آمده است در دو مرحله تهیه می‌کنیم و با استفاده از پمپ محلول را به داخل لوله‌ها هدایت می‌کنیم. چیدمان آزمایش را مطابق شکل ۳ آماده می‌کنیم و برای دو فاصله ۲/۷ و ۳/۵ سانتی متر منبع و آشکارساز تپ‌های fNIRS را اندازه‌گیری می‌کنیم. تپ حالت پایه (φ_0) را در حالتی که داخل لوله‌ها آب می‌باشد و تپ φ را در حالتی که داخل لوله‌ها محلول جوهر می-باشد اندازه‌گیری می‌کنیم.

جدول ۱ : پارامترهای اپتیکی فانتوم برای طول موج‌های لیزری استفاده شده در دستگاه fNIRS.

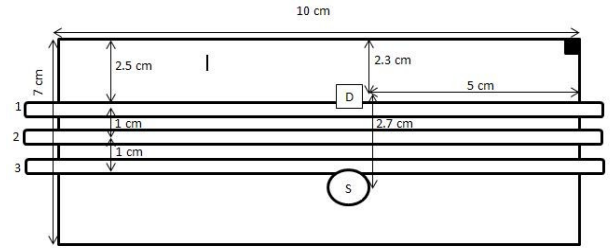
طول موج (nm)	μ_a (cm^{-1})	μ_s' (cm^{-1})
۶۹۰	۰/۱	۳۰
۸۳۰	۰/۰۸	۲۴

جدول ۲: ضرایب جذب محلول جوهر در طول موج‌های دستگاه

مرحله	غلظت (g/ml)	طول موج (nm)	μ_a (cm^{-1})
۱	1.83×10^{-3}	۶۹۰	۷/۷۳
		۸۳۰	۶/۴۷
۲	3.82×10^{-3}	۶۹۰	۱۶/۱۵
		۸۳۰	۱۳/۵۱



(الف)



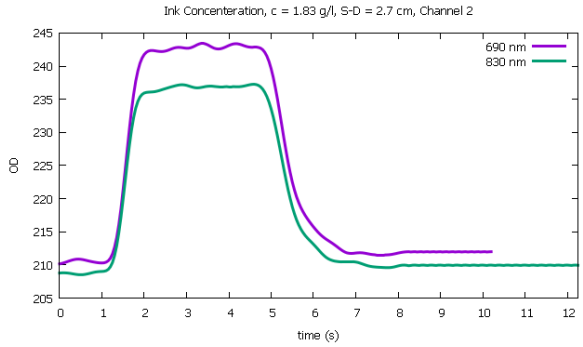
(ب)

شکل ۲: نحوه قرارگیری لوله‌ها در عمق ۱ cm از فانتوم. الف) برای فاصله ۳/۵ سانتی متر (چیدمان ۱)، ب) برای فاصله ۲/۷ سانتی متر (چیدمان ۲).

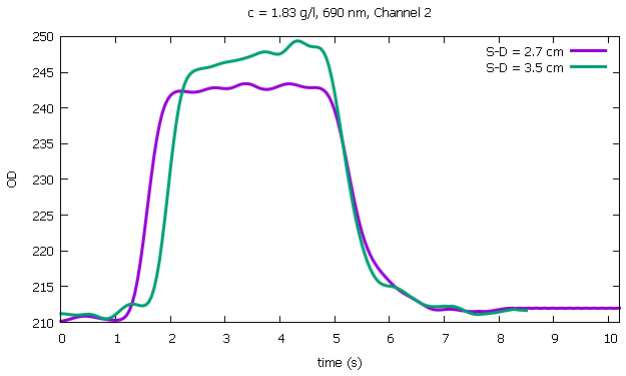
شکل ۳: چیدمان آزمایش

نتایج تجربی

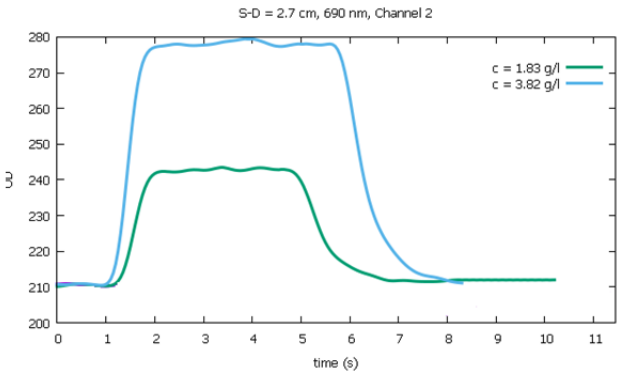
در شکل ۴ تغییرات چگالی اپتیکی اندازه‌گیری شده را برای هر دو طول‌موج ۶۹۰ و ۸۳۰ نانومتر به کار رفته در دستگاه fNIRS مشاهده می‌کنید. همان‌طور که از شکل مشاهده می‌شود و در جدول ۲ نیز آمده است میزان جذب برای طول‌موج ۶۹۰ نانومتر بیشتر است. میزان حساسیت سامانه به فاصله منبع نور و آشکارساز در شکل ۵ برای طول‌موج ۶۹۰ نانومتر زمانی که محلول وارد کانال دوم می‌شود نشان داده شده است با توجه به شکل برای فاصله منبع و آشکارساز بیشتر شدت نور کمتری از نمونه خارج شده است، چون که در فاصله منبع و آشکارساز بزرگتر عمق نفوذ نور بیشتر شده است و فوتون‌های بیشتری تحت تاثیر تغییر جذب قرار می‌گیرند در نتیجه حساسیت دستگاه بیشتر می‌شود. تغییرات برای هر دو مرحله جدول ۲ در طول‌موج ۶۹۰ نانومتر زمانی که لوله ۲ باز می‌شود برای چیدمان شکل ۲-ب در شکل ۶ آمده است، همان‌گونه که انتظار می‌رفت برای زمانی که تغییرات جذب بیشتر است تغییرات چگالی اپتیکی بیشتر می‌شود چون درصد بیشتر فوتون‌ها جذب شده‌اند.



شکل ۴: تغییرات چگالی اپتیکی برای هر دو طول‌موج در غلظت $1.83\,g/l$ جوهر.

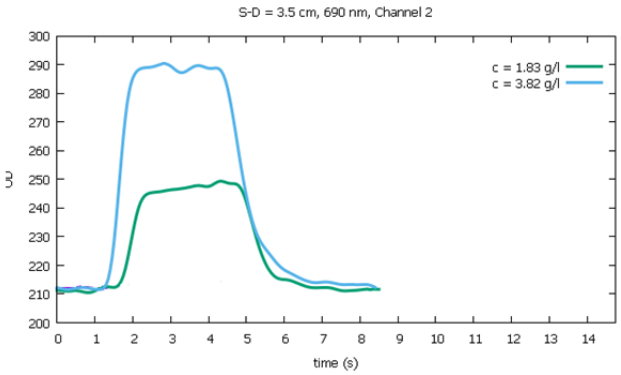


شکل ۵: تغییرات چگالی اپتیکی برای طول‌موج ۶۹۰ نانومتر در غلظت $1.83\,g/l$ جوهر برای کانال دوم.



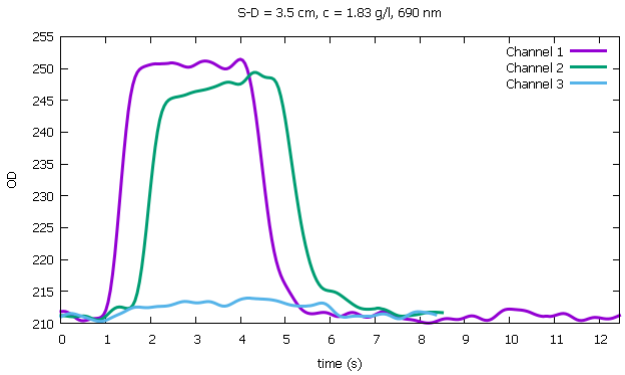
شکل ۶: تغییرات چگالی اپتیکی برای هر دو محلول در لوله دوم در ۶۹۰ نانومتر برای چیدمان شکل ۲-ب.

تغییرات برای هر دو مرحله جدول ۲ در طول‌موج ۶۹۰ نانومتر زمانی که لوله ۲ باز می‌شود برای چیدمان شکل ۲-الف در شکل ۷ آمده است، در این حالت نیز تغییرات با کمی جابه‌جائی مشابه شکل ۶ است.

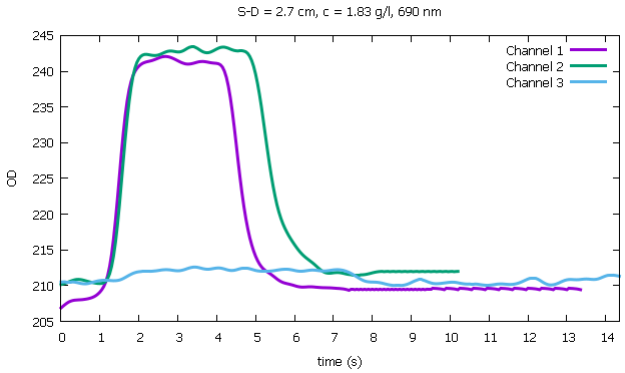


شکل ۷: تغییرات چگالی اپتیکی برای هر دو محلول در لوله دوم در ۶۹۰ نانومتر برای چیدمان شکل ۲-الف.

میزان حساسیت سامانه به مکان موضعی تغییرات جذب نسبت به مکان منبع نور و آشکارساز که برای طول موج ۶۹۰ نانومتر و برای چیدمان شکل ۲-الف می‌باشد در شکل ۸ آمده است، همچنین میزان این حساسیت برای چیدمان شکل ۲-ب در شکل ۹ آمده است.



شکل ۸: تغییرات چگالی اپتیکی برای هر سه لوله در ۶۹۰ نانومتر برای چیدمان شکل ۲-الف که محلول با غلظت $1.83\,g/l$ از لوله‌ها عبور می‌کند.



شکل ۹: تغییرات چگالی اپتیکی برای هر سه لوله در ۶۹۰ نانومتر برای چیدمان شکل ۲-ب که محلول با غلظت $1.83\,g/l$ از لوله‌ها عبور می‌کند.

از شکل‌های ۸ و ۹ و با توجه به موقعیت منبع و آشکارساز نسبت به لوله‌ها که در شکل ۲ قابل مشاهده می‌باشد اثر لوله سوم در تغییرات چگالی اپتیکی ناچیز بوده است اما لوله‌های اول و دوم تغییرات قابل ملاحظه‌ای در چگالی اپتیکی ایجاد می‌کنند.

نتیجه گیری

با توجه به داده‌های حاصل از آزمایشات حساسیت دستگاه fNIRS به فاصله منبع و آشکارساز، غلظت تغییرات جذب و موقعیت مکانی تغییرات جذب نسبت به موقعیت منبع و آشکارساز وابسته است، از این جهت می‌توان با این دستگاه fNIRS مقدار تغییرات جذب در

عمق یک سانتی‌متری داخل نمونه که روی شدت نور خروجی اثرگذار است را اندازه‌گیری نمود.

منابع

[1]Arridge S. R.; "Photon-measurement density functions. Part I: Analytical forms. "; Appl Opt 34(31), 1995, PP. 7395-7409.

[2] Hoshi Y.; "Functional near-infrared optical imaging: Utility and limitation in human brain mapping."; Psychophysiology 40(4), 2003, PP. 511-520.

[3]Strangman G., Zhang Q., Z. Li; "Scalp and Skull influence on near infrared photon propagation in the Colin 27 brain template. "; NeuroImage 85, 2014, PP.136-149.

[4]http://omlc.org/~prahl/projects/phantoms.html.

[۵]مهسا سهیلی کیا؛ «ساخت فانتوم مشابه بافت در ناحیه NIR و بررسی انتشار نور در آن» پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فوتونیک دانشگاه شهید بهشتی. ۱۳۹۴.