بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

اندازه گیری تغییرات اکسیژنه‌ی ماهیچه‌ای حین ورزش با FNIRS

محسن شجایی‌فر، الهام فضلی آذر، محمد علی انصاری و عزالدین مهاجرانی

پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده – یکی از پارامترهای مهم در تعیین آمادگی جسمانی افراد به ویژه ورزشکاران، میزان اکسیژن اشباع ماهیچه‌ای می‌باشد که در تعیین نوع فعالیت ورزشی جهت کاهش جراحت‌ها و بهبود فعالیت‌های ورزشی موثر می‌باشد. ما با روش طیف سنجی فروسرخ نزدیک عملکردی(*FNIRS*)، میزان اکسیژنه ساق پای ۴ نفر(سه نفر سالم و یک نفر با سابقه بیماری قبلی) را قبل، بعد وحین راه رفتن و دویدن روی تردمیل اندازه‌گیری کردیم. تفاوت قابل ملاحظه ای بین زمان بازگشت سطح اکسیژن به حالت استراحت در فرد با سابقه بیماری قلبی و سایر افراد دیده شد که نشان دهنده قابلیت *FNIRS* به عنوان روشی جدید در اندازه گیری تغییرات اکسیژنه است .

کلید واژه- طیف سنجی فروسرخ نزدیک عملکردی FNIRS ، اکسیژن اشباع خون

Measuring muscle oxygenation during exercise by using functional near-IR spectroscopy(FNIRS)

Mohsen Shojaeifar, Elham fazli Azar, Mohammad Ali Ansari, Ezeddin Mohajerani

Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University

Abstract- The value of muscle oxygenation is an important parameter indicating the physical fitness of athletes, so the type of physical activities to reduce injury can be determined by measuring this parameter. Functional near-IR spectroscopy (FNIRS) can be applied to measure the hemodynamic signals of biological tissues. In this study, we use FNIRS to measure the muscle oxygenation. The muscle oxygenations of four people (three normal persons and one person with heart disease) are determined by FNIRS during walking and running and also the recovery time of their blood signal are measured.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

۱- مقدمه

در حین ورزش و فعالیت بدنی، فشار خون و میزان اکسیژنه عضله تغییر می‌کند که نشان‌دهنده‌ی شدت فعالیت بدنی است. برای مثال در افراد ورزشکار معمولا تغییرات اکسیژنه عضله نسبت به افراد عادی کمتر است و فشار کمتری به سیستم خونرسانی بدن وارد می‌شود. علاوه بر این با توجه به رابطه مستقیم سرعت اکسیژن رسانی و بنیه ی قلبی-عروقی افراد، زمان بازگشت سطح اکسیژنه‌ی ماهیچه به حالت استراحت می تواند به عنوان یک شاخص برای تطبیق نوع ورزش با شرایط جسمانی افراد مورد استفاده قرار بگیرد. روش کنونی برای ارزیابی وضعیت استقامتی بدن در ورزش های هوازی اندازه‌گیری حداکثر میزان اکسیژنی است که بدن در طول زمان یک دقیقه دریافت می‌کند [۱]. از سه روش مختلف برای اندازه گیری اکسیژن ماهیچه می‌توان استفاده کرد: الف) روش الکتروشیمیایی که اکسیژن حل شده در خون را اندازه گرفته و تهاجمی است، ب) اندازه گیری فشار اکسیژن عبوری از پوست که میزان اکسیژن حل شده در پوست را اندازه می گیرد و در نتیجه به سطح اکسیژن ماهیچه دسترسی ندارد و ج) روش FNIRS که یک روش تصویربرداری غیر تهاجمی است و از نور فروسرخ نزدیک برای اندازه گیری غلظت اکسی ودی اکسی هموگلوبین استفاده می کند [۲]. به کمک روش اخیر، سطح اکسیژن اشباعی در مویرگ های بافت ماهیچه اندازه‌گیری می‌شود که با توجه به اینکه اکسیژن فقط در مویرگ ها استفاده می شود این ویژگی اهمیت بسزایی دارد. سیستم FNIRS بدلیل قابل حمل و غیرتهاجمی بودن، علاوه بر حوزه‌های پزشکی به سادگی در زمینه ورزشی نیزقابل استفاده است.

در این مطالعه، سطح اکسیژنه عضلات ۴ نفر در هنگام راه رفتن و دویدن روی تردمیل و هم‌چنین زمان بازگشت اکسیژنه عضله به حالت قبل از فعالیت بدنی به کمک روش FNIRS اندازه گیری می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که این زمان بازگشت با آمادگی و سلامت جسمی فرد متناسب است. در این مطالعه قابلیت استفاده از FNIRS برای بررسی سطح آمادگی جسمانی فرد مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۲- مواد و روش ها

در شکل (۱) شماتیکی از روش FNIRS ارائه شده است. مشاهده می‌شود که در این روش از دو منبع نورانی مختلف به طول موج های ۶۵۵ و ۹۲۶ نانومتر استفاده شده است. در ناحیه فرو سرخ نزدیک اصلی ترین جاذب های خون، اکسی هموگلوبین و دی اکسی هموگلوبین می‌باشند. برای اندازه‌گیری تغییرات این کروموفورها از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود [۳]:

$$\Delta Hb = \frac{\ln\frac{I_0(\lambda_2)}{I(\lambda_2)}\varepsilon_2(\lambda_1) - n\frac{I_0(\lambda_1)}{I(\lambda_1)}\varepsilon_2(\lambda_2)}{(\varepsilon_2(\lambda_1)\varepsilon_1(\lambda_2) - \varepsilon_2(\lambda_2)\varepsilon_2(\lambda_1))DL} \quad (۱)$$

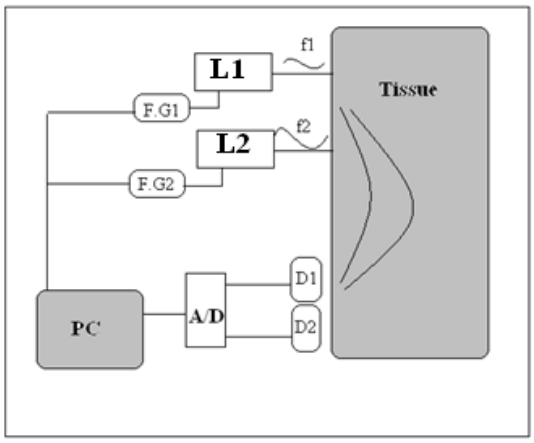
$$\Delta HbO_2 = \frac{\ln\frac{I_0(\lambda_1)}{I(\lambda_1)}\varepsilon_1(\lambda_2) - n\frac{I_0(\lambda_2)}{I(\lambda_{21})}\varepsilon_1(\lambda_1)}{(\varepsilon_2(\lambda_1)\varepsilon_1(\lambda_2) - \varepsilon_2(\lambda_2)\varepsilon_2(\lambda_1))DL} \quad (۲)$$

که ΔHb و ΔHbO_2 به ترتیب تغییرات دی‌اکسی و اکسی هموگلوبین می‌باشند. λ_1 و λ_2 به ترتیب طول موجهای ۶۵۵ و ۹۲۶ نانومتر هستند. ε_1 و ε_2 به ترتیب ضریب خاموشی تغییرات دی‌اکسی و اکسی هموگلوبین و D عددی ثابت برابر ۵ و L فاصله‌ی منبع نورانی با آشکارسازها می‌باشد. با اندازه‌گیری تغییرات دی‌اکسی و اکسی هموگلوبین، می‌توان تغییرات اکسیژنه در بافت را بررسی کرد. درصد اکسیژن اشباع وریدی (SVO_2) از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$SvO_2 = \frac{\Delta HbO_2}{\Delta HbO_2 + \Delta Hb} \quad (۳)$$

آزمایش شامل چهار مرحله اندازه گیری متوالی در ۵ دقیقه بود که در مرحله اول افراد یک دقیقه در حال استراحت بودند، در مرحله دوم یک دقیقه با سرعت ۷ کیلومتر بر ساعت روی تردمیل دویدند و در مرحله سوم یک دقیقه با سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت بر روی تردمیل راه رفتند و در مرحله چهارم دو دقیقه در حال استراحت بودند.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]



شکل ۱: شماتیکی از سامانه FNIRS که توسط دو لیزر L1و L2 بافت را نوردهی می‌کند. نور توسط دو آشکارساز D1و D2 ثبت و اطلاعات به رایانه ارسال می‌شود. F.G.1 و F.G.2 به ترتیب دو فانکشن ژنراتور برای تولید نور مدولاسیون شدتی هستند.

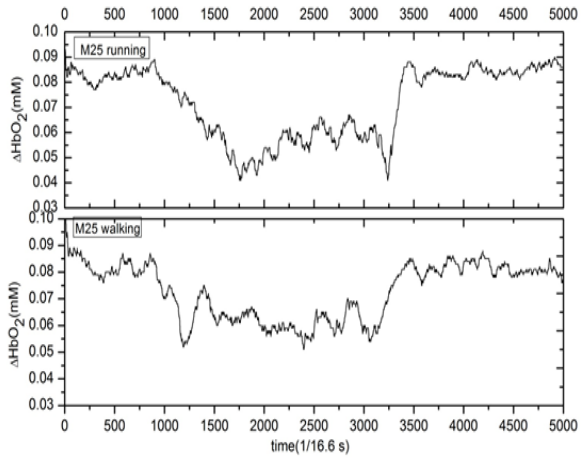
۳- نتایج تجربی

در این آزمایش از ۴ نفر استفاده شد که مشخصات افراد داوطلب شرکت کننده در آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱:شماره، قد، وزن و جنسیت افراد شرکت کننده در آزمایش اندازه گیری تغییرات اکسیژنه خون در حین دویدن و راه رفتن بر روی تردمیل

جنسیت	سن	وزن(kg)	قد(m)	شماره فرد
مذکر	۵۱	۷۰	۱/۷۵	۱
مذکر	۲۵	۷۸	۱/۷۳	۲
مونث	۲۱	۶۰	۱/۶۰	۳
مونث	۱۹	۷۷	۱/۵۸	۴

تغییرات غلظت اکسی هموگلوبین این افراد توسط سیستمFNIRS اندازه گیری شد. برای نمونه نمودار تغییرات غلظت اکسی هموگلوبین مربوط به فرد شماره ۲ درطی پنج مرحله‌ی آزمایش در شکل(۲) قابل ملاحظه است که در آن علاوه برمیزان تغییرات غلظت این کرموفور در حالات قبل از ورزش (۱ دقیقه ابتدایی) و در زمان دویدن ویا راه رفتن(به مدت ۲ دقیقه) و زمان استراحت (۲ دقیقه‌ی نهایی) بر حسب میلی مول(mM) بیان شده است.



شکل ۲: تغییرات زمانی اکسی هموگلوبین عضله‌ی ساق پا در حین دویدن و راه رفتن مربوط به فرد شماره ۲ (۶۰ ثانیه اول استراحت سپس ۱۲۰ ثانیه دویدن با سرعت ۷ کیلومتر برساعت در نمودار بالا و راه رفتن با سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت در نمودار پایین و در آخر ۱۲۰ ثانیه مجدد استراحت)

زمان بازگشت به حالت استراحت تغییرات اکسی هموگلوبین در جدول (۲) بیان شده است. بنا به رابطه(۳) تغییرات غلظت اکسی هوگلوبین بیانگر تغییرات اکسیژنه در بافت است. با توجه به سلامتی افراد شرکت کننده در آزمایش از نظر بیماری‌های عروق محیطی، زمان بازگشت نشانگر توانایی جسمی افراد از لحاظ ظرفیت ماهیچه‌ای قلب وقدرت سیستم تنفسی است. در جدول (۲) ملاحظه می شود بیشترین میانگین زمان بازگشت ۳۹ ثانیه مربوط به فرد شماره ۱ است که به دلیل بیماری قلبی زمان بیشتری برای بازگشت به حالت عادی نیاز دارد. از طرفی کمترین میانگین زمان بازگشت مربوط به فرد شماره ۳ است که وضعیت تناسب اندام بهتری دارد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج ارائه شده در این مقاله، نشان می‌دهند که سامانه FNIRS قادر است تا سطح اکسیژنه بافت عضله را اندازه-گیری کند. این سیستم به عنوان روشی جدید و آسان، قابلیت جایگزینیِ روش های فعلی اندازه‌گیری اکسیژن اشباعی را دارد به علاوه مشکلات روش‌های مرسوم از جمله تهاجمی بودن و یا محدود بودن به سطح اکسیژن پوست را مرتفع کرده و به راحتی در حوزه‌های ورزشی قابل استفاده است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

جدول ۲ : زمان بازگشت میزان اکسیژنه خون ازحالت راه رفتن و دویدن بر روی تردمیل به حالت استراحت افراد شرکت کننده درآزمایش

شماره فرد مورد آزمایش	زمان بازگشت میزان اکسیژنه بعد از راه رفتن(ثانیه)	زمان بازگشت میزان اکسیژنه بعد از دویدن (ثانیه)	میانگین زمان برگشت بین دو حالت راه رفتن و دویدن(ثانیه)
۱	۴۵	۳۳	۳۹
۲	۲۲/۵	۳۳	۲۷/۷۵
۳	۱۵	۲۲/۷	۱۸/۸۵
۴	۱۸	۳۰	۲۴

مراجع

[1] Kraiem A, Craescu CT, Galacteros F, Martin-Caburi J, Domenget C, Garel MC, Beuzard Y. "*Filterability of sickle cells as a function of pO2: role of physico-chemical factors*." **Biorheology** 26:774-781 (1989)

[2] Nima Hemmati, S.K. Setarehdan, H. Ahmadi Noubari, Multi-channel *Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) System for Noninvasive Monitoring of Brain Activity*, Proceedings of the **IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics** (BHI 2012).

[3] Duncan A, Meek JH, Clemence M et al, *Optical pathlength measurements on adult head, calf and forearm and the head of the newborn infant using phase resolved optical spectroscopy*. **Phys Med Biol** 40(2):295–304, (1995)

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]