هشتمین کنفرانس بین المللی
علوم ورزشی تربیت‌بدنی و سلامت اجتماعی
8th International Conference on Sports Science Physical Education and Social Health

بیو سنسورها و سیر تکاملی آنها

1-کیان باقری اصل 2-سالار باقری اصل3-سولماز بهزادنیا

1- دانشجوی کارشناسی پیوسته رشته مهندسی پزشکی دانشگاه آزاد ارومیه kian.ba2003@gmail.com

2-استاد مدعو دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران salar.ba@gmail.com

3-راهبر پژوهشی مدارس سما آذربایجان غربی solmaz.be12@gmail.com

چکیده

با تداوم تحقیقات و توسعه فناوری در زمین تراشه ها و حسگر ها ، زمینه کافی برای توسعه حسگر های زیستی فراهم شد. این حسگر های قابل پوشش که از راه های تماسی و غیر تماسی ، قادر به پردازش داده های زیستی از راه های غیر تهاجمی هستند که با کوچکتر کردن مداوم ابزار های الکترونیکی و تراشه های پردازشی به وجود آمده اند. توسعه فناوری های الکترونیکی انعطاف پذیر، سنسورهای بیوشیمیایی، میکروسیال‌های نرم و میکروسوزن‌های بدون درد، نسل جدیدی از حسگر های زیستی قابل پوشیدن را ایجاد کرده اند که فرصت های عالی را برای نظارت بر حالت فیزیولوژیکی انسان ایجاد کرده اند و حتی روز به روز این زمینه نظارت با پیشرفت این تراشه ها و فناوری ها نیز بهبود میابد، با این حال حسگر های زیستی پوششی زیاد مورد توجه قرار گرفته نشده است و امید است این روند با توسعه حسگرهای زیستی پوشیدنی که با ظرفیت های حسی پردازش سریع، غیرتهاجمی و غیر تحریک‌کننده تا حد زیادی تسهیل شود و این روند از فرایند نظارتی گسترش یابد. در اینجا ما یک بررسی کاربردی از این حسگر های زیستی و تحلیل مواد سازنده آنها و روش ساخت این سنسور ها، روش‌های نمونه برداری، روش‌های سنجش و نظارت، و همچنین و پلتفرم های سنجش زیستی، تراشه های پوشیدنی برای مراقبت‌های بهداشتی ،بررسی سلامت در حوزه ورزشی با تاکید بر حس سازی زیستی مایعات پوستی و بینابینی ارائه خواهیم کرد. پس از بررسی کلی به مسائل و چالش های حل نشدنی نیز اشاره خواهد شد که این اقدام زمینه ساز پژوهش های بعدی نیز خواهد بود. با درک عمیق تر تراشه های زیستی میتوان شاهد پیشرفت سریع نظارت های ورزشی و بهبود راهکار های سلامتی در پروسه های ورزشی بود.

کلمات کلیدی: علوم ورزشی، مهندسی پزشکی، بیو سنسورها، آنالیز های ورزشی

1-مقدمه

ایجاد فناوری های آزمایشگاهی و نظارتی ریز تر در مقیاس میکرو یک فناوری با پتانسیل کارایی بالا میباشد که به این فناوری (آزمایشگاه بر روی تراشه) نیز گفته میشود.(1) LOC یک فناوری نانو مهندسی میباشد که کاربرد این فناوری در بررسی عناصر زیستی همچون سلول ها ، درشت مولکول های سلولی ، عناصر بیوشیمیایی همچون پروتئین ها ، گاز های موجود در بدن و... میباشد. این تراشه ها به صورت کلی از سیلیکون، الاستومر یا شیشه ساخته میشوند و درون آنها ریزلوله هایی با ابعاد میکرونی سیالات را درون خود مورد بررسی و آزمایش قرار میدهند. با تداوم تحقیقات و توسعه فناوری در زمین تراشه ها و حسگر ها ، زمینه کافی برای توسعه حسگرهای زیستی فراهم شد. این حسگرهای قابل پوشش که از راه های تماسی و غیر تماسی ، قادر به پردازش داده های زیستی از راه های غیر تهاجمی هستند که با کوچکتر کردن مداوم ابزار های الکترونیکی و تراشه های پردازشی به وجود آمده اند. با استفاده از این تکنولوژی میتوان در زمینه ورزشی، عملیات های بررسی فیزیولوژیکی و پزشکی ورزشکاران را صورت داد که مهمترین آنها میتواند تراشه تحلیلگر عرق قابل پوشش میباشد. حسگرهای زیستی پوشیدنی مبتنی بر تعریق، نظارت مداوم بر وضعیت سلامت افراد را با بینش در زمان واقعی و در سطح مولکولی تسهیل می‌کنند. این سیستم قابلیت یونتوفورزیس قابل برنامه ریزی بی سیم را برای القای عرق با پروفایل های نرخ دفع مختلف و در فواصل زمانی متناوب اجرا می کند. از طریق ادغام الکترودهای حسگر روی همان بستر الکترودهای یونتوفورز، عرق القا شده را می توان بلافاصله در محل تجزیه و تحلیل کرد. حسگرها قادر به تعیین کمیت عرق Na^+، Cl^- و گلوکز هستند، با حساسیت بالا در محدوده‌های فیزیولوژیکی مرتبط مورد علاقه.(2) در اینجا ما یک بررسی کاربردی از این حسگر های زیستی و تحلیل مواد سازنده آنها و روش ساخت این سنسور ها، روش‌های نمونه برداری، روش‌های سنجش و نظارت، و همچنین و پلتفرم های سنجش زیستی، تراشه های پوشیدنی برای مراقبت‌های بهداشتی ،بررسی سلامت در حوزه ورزشی با تاکید بر حس سازی زیستی مایعات پوستی و بینابینی ارائه خواهیم کرد. پس از بررسی کلی به مسائل و چالش های حل نشدنی نیز اشاره خواهد شد که این اقدام زمینه ساز پژوهش های بعدی نیز خواهد بود. با درک عمیق تر تراشه های زیستی میتوان شاهد پیشرفت سریع نظارت های ورزشی و بهبود راهکار های سلامتی در پروسه های ورزشی بود.

2-آزمایشگاه بر روی تراشه

در دهه گذشته، کوچک سازی تکنیک های تحلیلی به یک روند غالب در تحقیقات تبدیل شده است. این روند رشته های متنوعی را در بر می گیرد. آزمایشگاه هایی که علاقه‌مند به ایجاد ریز ساخته‌های جدید هستند ساختارهایی برای پردازش و تحلیل های متنوع یا فقط موضوعات و زمینه های خاص این اقدام را صورت میدهند. تحقیقات در مورد کوچک سازی اساساً ناشی از نیاز به کاهش

هزینه ها از طریق کاهش مصرف معرف های گران قیمت و با افزایش توان عملیاتی و اتوماسیون است. برای مثال، بیشتر آنها از افزایش هزینه مراقبت های بهداشتی آگاه هستند که تا حدی ناشی از هزینه اجرای آخرین سنجش های تشخیصی است. این سنجش‌ها که معمولاً در صفحات میکروتیتر که صدها میکرولیتر معرف مصرف می‌کنند انجام می‌شوند، از استفاده از آرایه‌های ریز ساخته شده از ویال‌های حجمی نانولیتری سود می‌برند. با کاهش مصرف معرف به میزان 10^3-10^4، این دستگاه ها می توانند صرفه جویی چشمگیری را برای سنجش های تکراری که اغلب در آزمایشگاه های تشخیصی انجام می شوند، فراهم کنند. به صورت کلی میتوان گفت آزمایشگاه روی تراشه یک دستگاه کوچک است که راه حل انجام تجزیه و تحلیل های بیولوژیکی و بیوشیمیایی چند نمونه را در یک پلت فرم ارائه می دهد. تحقیقات در آزمایشگاه روی یک تراشه بر چندین کاربرد از جمله تشخیص انسانی، تجزیه و تحلیل DNA و تا حدی کمتر سنتز شیمیایی متمرکز است. بنابراین، آزمایشگاه روی یک تراشه به عنوان یک ابزار تشخیصی امیدوارکننده ظاهر می‌شود زیرا کوچک‌سازی عملیات بیوشیمیایی هزینه‌ها را کاهش می‌دهد، عملیات‌ها را موازی می‌کند و سرعت، حساسیت و دقت تشخیصی را افزایش می‌دهد.(3)

2-1-تاریخچه LOC

حدود 20 سال پیش، محققان مفهوم آزمایشگاه روی تراشه را معرفی کردند و استفاده از آن را به عنوان یک ابزار تشخیصی انقلابی تصور کردند ولی دلایل به واقعیت پیوستن این فناوری چه چیزی بود؟ تاریخچه آزمایشگاه روی یک تراشه ذاتاً با تاریخچه میکروسیالات مرتبط است. پیدایش میکروسیالات به همان شیوه میکروالکترونیک آغاز شد. در اوایل دهه 50، محققان فرآیند فوتولیتوگرافی را با استفاده از نور، برای ساخت ترانزیستورهای کوچک با جزئیات ریزتر در سیلیکون تطبیق دادند. در سال 1964، محققان اولین مدار مجتمع را با ساخت مقاومت‌ها، خازن‌ها و ترانزیستورها بر روی همان قطعه از مواد نیمه‌رسانا نشان دادند. به زودی، طیف گسترده ای از حسگرها و مبدل ها بر اساس تکنیک های فوتولیتوگرافی در سیلیکون توسعه یافتند.(4) با استفاده از این تکنیک های ساخت، اولین آزمایشگاه واقعی روی یک تراشه در سال 1979 در دانشگاه استنفورد برای کروماتوگرافی گازی ایجاد شد. با این حال، تحقیقات آزمایشگاه روی یک تراشه تنها در اواخر دهه 80 با توسعه میکروسیال‌ها و انطباق فرآیندهای میکروساخت برای تولید تراشه‌های پلیمری، معروف به لیتوگرافی نرم، آغاز شد. در دهه 90، محققان شروع به کاوش بیشتر در میکروسیالات کردند و سعی کردند عملیات بیوشیمیایی را کوچک کنند. تحقیقات اولیه آزمایشگاه روی تراشه نیز بر زیست شناسی سلولی متمرکز بود. با در نظر گرفتن این که میکروکانال‌ها به اندازه سلول‌ها هستند، جای تعجب نیست که به دانشمندان این امکان را می‌دهد تا برای اولین بار به راحتی عملیات را در سطح تک سلولی انجام دهند. در نهایت، محققان شروع به ادغام تمام مراحل مورد نیاز از جمع‌آوری نمونه تا آنالیز نهایی روی همان تراشه کردند که به سیستم تجزیه و تحلیل کل میکرو (μTAS) معروف است، که پتانسیل واقعی فناوری‌های آزمایشگاه روی تراشه را نشان می‌دهد. دستگاه‌های میکروسیال با در دسترس قرار گرفتن فناوری‌های ساخت جدید تغییر کردند و الزامات دستگاه‌های میکروسیال (مانند شفافیت نوری) به این معنی بود که موادی مانند سیلیکون توسط شیشه و پلاستیک جایگزین شدند. در نهایت، ما به آخرین پیشرفت‌ها در این زمینه نگاه می‌کنیم و جهت‌گیری‌ها را برای تحقیقات آینده مورد بحث قرار می‌دهیم تا اطمینان حاصل کنیم که میکروسیال‌ها به پتانسیل کامل خود می‌رسند.

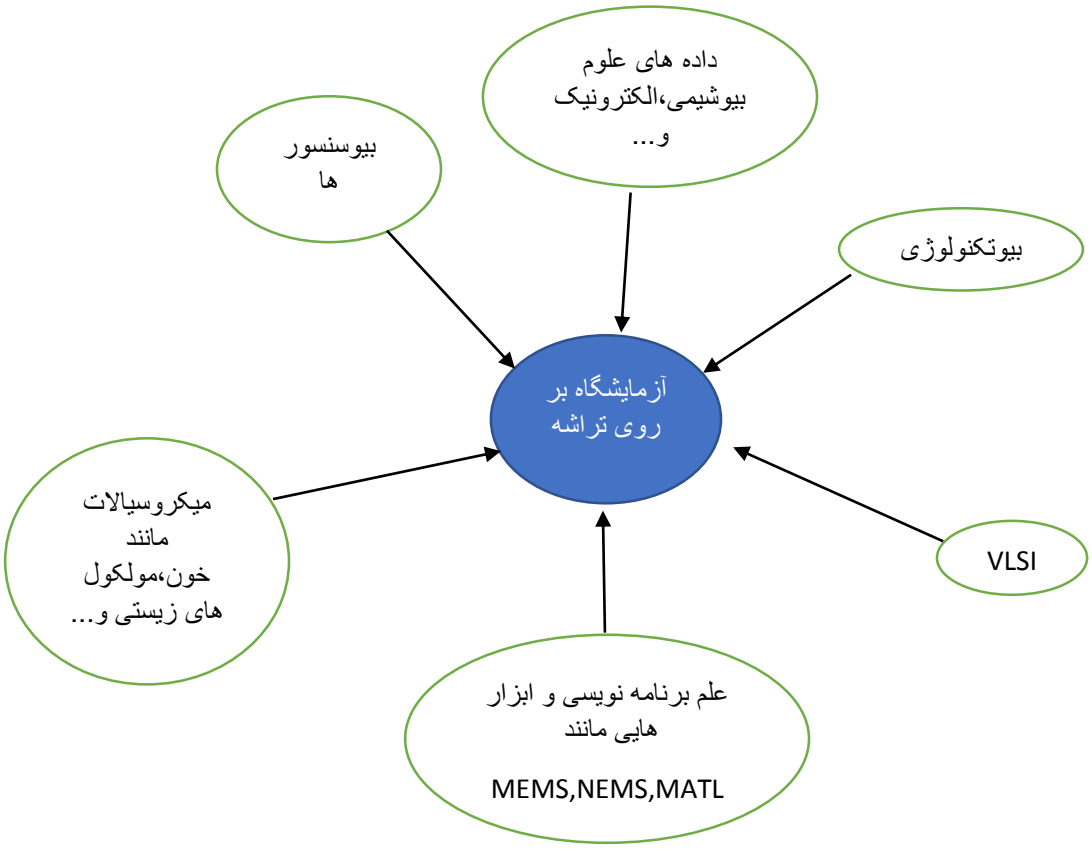
2-2-سیالات ها و آزمایشگاه بر روی تراشه

با گذشت زمان و توسعه طیف وسیع‌تری از حسگرها و مبدل‌ها و همچنین تکنیک‌های فتولیتوگرافی و اچینگ برای سیلیکون، محققان توجه خود را به استفاده از این تکنیک‌ها برای حل مشکلات خارج از الکترونیک معطوف کردند. تجزیه و تحلیل مولکولی اولین زمینه ای بود که این غلظت را دریافت کرد زیرا آشکار شد که مزایای به حداقل رساندن سیستم های سیال که استاندارد فعلی بودند می تواند منجر به تجهیزات بسیار قوی تر شود. (6) میکروسیالات ها هم علم و هم کاربردی است که پیکولیترهای مایعات را دستکاری می کند و دستگاه های ریز مینیاتوری را تولید می کند و فناوری اصلی پشت آزمایشگاه روی تراشه است. این می‌تواند میلیون‌ها میکروکانال را که هر یک میکرومتر اندازه‌گیری می‌کنند، روی یک تراشه که در دست شما قرار می‌گیرد، ادغام کند. این فرآیند مدیریت کارآمد حجم های کوچک مایعات (به عنوان مثال، معرف های واکنش های بیوشیمیایی) را امکان پذیر می کند Lab-on-a-a-chip یک پلت فرم میکروسیال است که عملیات آزمایشگاهی مختلف مانند تجزیه و تحلیل بیوشیمیایی، سنتز شیمیایی یا توالی یابی DNA را ادغام می کند. بنابراین، دستگاه‌های آزمایشگاه روی تراشه فقط مجموعه‌ای از میکروکانال‌ها نیستند، سیستم‌های تشخیصی کامل آزمایشگاه روی تراشه به پمپ‌ها، الکترودها، دریچه‌ها، میدان‌های الکتریکی و الکترونیک یکپارچه نیاز دارند. امروزه می توان از ابزارهای مختلف کنترل جریان برای ایجاد یک سیستم آزمایشگاهی کامل روی تراشه استفاده کرد. آزمایشگاه روی یک تراشه نه تنها ظرفیت یکپارچه سازی و موازی سازی را نشان می دهد، بلکه عملکرد برتر را در مقایسه با فناوری های معمولی نشان می دهد. این در مورد کاربردهای مختلف آزمایشگاه روی یک تراشه که در زیر مورد بحث قرار گرفته اند صادق است.(5)

2-3- ساختار کلی LOC

یک Lab-on-a-chip شامل قطعات و اجزای زیادی است. عملکرد یک آزمایشگاه روی یک تراشه را می توان در سه دسته کلی دسته بندی کرد: محرک ها، حسگرها و مدارهای الکترونیکی برای پردازش سیگنال، فعال سازی و بازخوانی. در مولفه تحریک، یک آزمایشگاه روی آچیپ نیروهای مکانیکی یا الکتریکی را در سیال یا سلول ها از طریق فعل و انفعالات الکترومغناطیسی ایجاد می کند.(15) در دستگاه های میکروسیال، اندازه کلی دستگاه نیست، بلکه مقیاس طول است که رفتار جریان را تعیین می کند. ممکن است معقول باشد که بگوییم اندازه دستگاه باید کوچکتر از یک سانتی متر با میکروکانال هایی به ترتیب 10^{-6}متر باشد. تراشه های میکروسیالی دستگاه‌هایی هستند که در میکروسیال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که در آنها یک شبکه میکرو کانال قالب گیری یا طرح بندی شده است. برای ساخت میکرو کانال ها یا سایر ریز اجزای درون تراشه از متود های مختلف ساخت استفاده می شود.(7)دتکتور به دلیل مقادیر بسیار کم نمونه ها که در دستگاه های میکروسیال واقع خواهند شد یک چالش اساسی خواهد بود،دتکتور باید بسیار قوی، حساس و خاص برای نمونه مورد مطالعه ساخته شود.یک دتکتور مناسب در کمترین زمان واکنش داده،با نمونه کمتر و هزینه ارزان باید بتواند فعالیت بکند. علاوه بر این، مصرف انرژی کم، فشرده‌بودن، اتوماسیون و توانایی انجام آنالیز مالتی پلکس از ویژگی‌های مطلوب مد نظر ما هستند.(8) در مولفه تحریک، یک آزمایشگاه روی آچیپ، نیروهای مکانیکی یا الکتریکی را

در سیال یا سلول ها از طریق فعل و انفعالات الکترومغناطیسی ایجاد می کند. در بخش سنجش، یک آزمایشگاه روی یک تراشه شامل حسگرهایی است که خواص الکتریکی، نوری، مغناطیسی یا حرارتی نمونه‌های هدف را اندازه‌گیری می‌کند. جزء الکترونیکی برای تقویت، کاهش نویز و تنظیم سیگنال خروجی استفاده می شود. همچنین رابطی بین Lab-on-a-chip و رایانه ها فراهم می کند. این سه مولفه در این بخش بررسی می شوند.(16) میکروالکترودهای روی سطح آزمایشگاه روی یک تراشه می توانند حسگرهای الکتریکی بسیار حساس را تشکیل دهند. سلول های بیولوژیکی را می توان به صورت خازنی با میکروالکترودها جفت کرد و فعالیت های بیوالکتریکی آن را می توان به صورت غیر تهاجمی اندازه گیری کرد.(17) با اجرای آرایه بزرگی از میکروالکترودها با مدارهای مالتی پلکس، می توان انتشار سیگنال های الکتریکی در بافت های بیولوژیکی را زیر نظر گرفت و اطلاعات ارزشمندی در مورد ارتباطات بین سلولی ارائه کرد.(18)



بین رشته ای بودLOC

2-4-تاثیر LOC بر روند نظارت

نانوبیوسنسورها پتانسیل عظیمی را برای ورزش نخبه ارائه می‌دهند، اما بسیار در مرحله تحقیقاتی خود هستند و تیم‌هایی در سراسر جهان در حال توسعه و آزمایش راه‌های جدیدی برای استفاده از آن در دنیای ورزش و پزشکی نخبگان هستند. مهندسان نانو یک نانوتتو غیر تهاجمی ابداع کرده‌اند که می‌توان آن را روی بازوی ورزشکار قرار داد. (9)نظارت بر لاکتات یک شاخص ضروری برای ارزیابی عملکرد بدنی در طول تمرین و رقابت در دو سرعت چندگانه و استقامت سرعت است. به طور سنتی سطح لاکتات از طریق استفاده از نوارهای حسگر لاکتات که با یک دستگاه دستی استفاده می‌شود، کنترل می‌شود که در حین فعالیت بدنی هم ناخوشایند و هم مزاحم است.

2-4-1-داده های عملکرد با ارزش تر

پیش از این، تجزیه و تحلیل عملکرد به دلیل اینکه داده های بیولوژیکی به طور قابل خواندن برای تجزیه و تحلیل در دسترس نیستند، محدود شده است. اما، با ادغام حسگرهای زیستی و در آینده نانوبیوسنسورها، مربیان و ورزشکاران درک بسیار بیشتری از نحوه عملکرد بدن یک ورزشکار به دست می‌آورند. استفاده آینده از نانوبیوسنسورها در قالب فناوری پوشیدنی قادر خواهد بود به صورت بی سیم تعدادی از عملکردهای بدن مانند میزان کم آبی بدن، بهبودی، سطوح لاکتات و حتی ترمیم زخم را ردیابی کند.(10)

2-4-2-افزایش ارزش برای ورزشکار

آمار عملکرد بازیکنان نقش فزاینده ای را در مذاکرات مجدد قراردادها و حقوق ایفا کرده است. همانطور که Marathe، مدیر ارشد استراتژی سانفرانسیسکو ers49 بیان می کند، "بینش داده های خوب می تواند باعث شود که بازیکنی که استخدام شود یا مربی اخراج شود، خراب شود". با این وجود، این داده ها اغلب به آمار آسیب ها و سلامت اولیه محدود می شود. در نتیجه، فقط ایده ای از عملکرد آینده یک ورزشکار ارائه می دهد و ممکن است واقعاً برای ارزش ورزشکار مضر باشد زیرا داده های عملکرد فعلی نمی توانند به طور قابل اعتمادی پتانسیل یک ورزشکار را پیش بینی کنند.(12)-(11) پیشرفت‌های اخیر در حسگرهای زیستی (و با اطمینان می‌توان در آینده نزدیک گفت، نانوبیوسنسورها نیز) پیشرفت قابل‌توجهی در سطوح داده‌های بیولوژیکی از جمله شاخص‌های سلامت

بلندمدت و میزان آسیب‌های آینده به ارمغان آورده است. داده‌ها می‌توانند به طور مثبت در دستان یک ورزشکار نقش داشته باشند، زیرا داده‌های بیومتریک قوی می‌توانند ارزش یک ورزشکار را افزایش دهند.

2-4-3-افزایش امنیت در ورزش

بهبود و توسعه فناوری های ورزشی علاوه بر بهبود کیفیت نظارت،امنیت را برای ورزشکاران نیز بهبود داده اند. استفاده از حسگرهای زیستی مانند این می‌تواند زمین بازی ایمن‌تری را از طریق کمک به جلوگیری از آسیب ایجاد کند، زیرا افزایش حساسیت آنها می‌تواند برای بررسی داده‌های حیاتی سلامت ورزشکار استفاده شود و اطمینان حاصل شود که ورزشکاران با استانداردهای خطر توافق شده مطابقت دارند. saxon(2011) برای نشان دادن اینکه چگونه فناوری حسگر زیستی مانند نانوبیوسنسورها می‌تواند برای ارتقای ایمنی در ورزش استفاده شود، تغییرات ضربان قلب بازیکنان NFL را در طول یک موقعیت واقعی بازی با استفاده از تکه‌های ضربان قلب جمع‌آوری داده‌ها از یک بازی سخت و مستمر مطالعه کرد. تغییرات در شتاب و تماس فیزیکی قابل توجه. این شکل از نظارت، پیشرفتی در این زمینه بود، که هدف از این مطالعه به دست آوردن داده‌های اولیه ضربان قلب برای هر بازیکن بود تا مشخص شود چه چیزی «ضربان قلب طبیعی» و «ضربان قلب غیر طبیعی» برای یک بازیکن در موقعیت آنها ایجاد چنین داده‌هایی برای رفاه بازیکنان مفید است و به ورزشکاران اجازه می‌دهد در طول بازی به‌صورت بلادرنگ نظارت شوند، همچنین تیم مربی را قادر می‌سازد تا در صورت لزوم به شیوه‌ای سریع و مؤثر واکنش نشان دهد. همچنین ممکن است در آماده سازی طاقت فرسا قبل از فصل بسیار مفید باشد. بنابراین، مزایای بالقوه ای که این فناوری جدید می تواند برای ورزش به ارمغان بیاورد قابل توجه است، نه تنها از طریق تجزیه و تحلیل عملکرد بهبود یافته، بلکه با ارائه آمار حیاتی که می تواند از آسیب طولانی مدت جلوگیری کند و افزایش یابد.(13)

3-چالش های موجود

استفاده از بسترهای فعال و حسگرهای یکپارچه هنوز در مرحله آزمایشی است. با این حال، این تکنیک‌ها قبلاً برای شناسایی اشیاء در سطح میکروسکوپی آزمایش شده‌اند تا چندین کاربرد را برای جایگزینی تکنیک‌های بازرسی نوری سنتی پیش‌بینی کنند.(14)در کنار این برای توسعه و حتی تولید آنها بسیار پر هزینه و گران قیمت است و به امکانات بروز برای انجام آن نیازمند میباشیم. (19)ولی این مشکل را نیز میتوان با استفاده از تکنولوژی چاپ سه بعدی و برش لیزری حل نمایید. شبکه پیچیده تحریک سیال به پمپ‌ها و کانکتورهای متعددی نیاز دارد که کنترل دقیق آن دشوار است. اکثر تکنولوژِهای آزمایشگاه بر روی تراشه تولید شده فقط برای کاربرد مفهومی و تئوری طراحی و تولید شده اند و کاربرد کاملی ندارند. در مقیاس میکرولیتری که LOC ها با آن سروکار دارند، اثرات وابسته به سطح مانند نیروهای مویرگی، زبری سطح یا فعل و انفعالات شیمیایی غالب تر هستند. این امر گاهی اوقات می تواند تکرار فرآیندهای آزمایشگاهی در LOC ها را بسیار چالش برانگیز و پیچیده تر از تجهیزات آزمایشگاهی معمولی کند.(20)

نتیجه

برای بهینه سازی عملکرد ورزشکاران در آِنده نه چندان دور ما میتوانیم برای تکنولوژِ آزمایشگاه بر روی تراشه یک جایگاه ویژه و درخشانی را در نظر بگیریم. تجزیه و تحلیل عملکرد یک ابزار تمرینی و رقابتی ضروری برای هر ورزشکار نخبه است و تضمین می کند که آنها از طریق شیوه های بازخورد بازتابی به دستیابی به دستاوردهای نهایی اساسی ادامه می دهند. همچنین این یک تمرین دائماً در حال تکامل است و زمینه هایی مانند مهندسی ورزش و تحقیقات زیست پزشکی را در بر می گیرد تا اطمینان حاصل شود که ورزشکاران فناوری پیشرفته را دریافت می کنند تا سطوح بیشتری از تجزیه و تحلیل و بازخورد را فراهم کنند. این را می توان به وضوح از طریق ادغام حسگرهای زیستی در تجزیه و تحلیل عملکرد ورزشی نشان داد، که اجازه می دهد داده های بیولوژیکی برای سطوح جدیدی از بازخورد در عملکرد ورزشکاران در تمرین و رقابت به دست آید. این ادغام در حال حاضر شروع به ارائه مزایای قابل توجهی برای ورزشکاران در دنیای ورزش کرده است، و پیشرفت‌های آینده نانوبیوسنسورها احتمالاً این را بیشتر خواهد کرد. به ورزشکاران اجازه می دهد تا به سطوح جدیدی از موفقیت برسند. با این وجود، قبل از اینکه نانوبیوسنسورها به ابزاری روزمره برای تجزیه و تحلیل و بهبود عملکرد ورزشی تبدیل شوند، ملاحظات معایب آنها - از نظر دسترسی به داده‌ها، مالکیت، محرمانه بودن، حریم خصوصی و همچنین رفاه ورزشکاران، باید توسط نهادهای نظارتی ورزشی در نظر گرفته شود تا تأثیرات آن در نظر گرفته شود. آنها ممکن است نه تنها روی ورزشکار، بلکه سیستم ورزشی نیز داشته باشند. این امر به جای حمایت کورکورانه از انگیزه معرفی بیوتکنولوژی های جدید، به رویکردی مدنظرتر اجازه می دهد که ارزش ورزش و ورزشکار را در خط مقدم قرار دهد (مک نامی 2007). از این رو، برای نهادهای ورزشی و تنظیم کننده‌ها ضروری است که اقداماتی را برای ادغام اخلاقی این فناوری در ورزش توسعه دهند و توسعه یک چارچوب حاکمیتی قوی را پیش از استفاده گسترده از آن در دنیای ورزش در نظر بگیرند. ولی برای دسترسی به این مرحله از بیوسنسور ها باید چه چالش هایی را پشت سر گذاشت؟

1-توسعه فناوری های لازم برای ایجاد قطعات آزمایشگاه بر روی تراشه و یا بیوسنسورها به صورت ارزان و در مقدار زیاد

2-انجام تحقیقات لازم برای غلبه بر چالش های موجود در داخل بدن یک جاندار چه از لحاظ شیمیایی و چه از لحاظ بیولوژیکی

3-تشخیص ناهنجاری ها بر اساس ژنوم و دی ان ای چشم انداز بعدی زمینه آزمایشگاه بر روی تراشه خواهد بود ولی اکثر سیستم‌های میکروسیال و آزمایشگاه روی یک تراشه هنوز از این مرز عبور نکرده‌اند و تلاش‌های چند رشته‌ای بیشتری باید به سمت این مرحله دوم توسعه هدایت شود.

منابع

1-(2003) Edwin Oosterbroek & A. van den Berg (eds.): Lab-on-a-Chip: Miniaturized systems for (bio)chemical analysis and synthesis, Elsevier Science, second edition402 ، pages. ISBN 0-444-51100-8

2- Emaminejad S., Gao W., Wu E., Davies Z.A., Nyein H.Y., Challa S., Ryan S.P., Fahad H.M., Chen K., Shahpar Z., et al. Autonomous sweat extraction and analysis applied to

cystic fibrosis and glucose monitoring using a fully integrated wearable platform. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2017;114:4625–4630. doi: 10.1073/pnas.1701740114

3- Abgrall, P. and A.M. Gué, Lab-on-chip technologies: making a microfluidic network and coupling it into a complete microsystem-a review. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2007. 17(5): p. R15.

4- Convery, N. and N. Gadegaard, 30 years of microfluidics. Micro and Nano Engineering, 2019. 2: p. 76-91

5- Haage, A. What's it all about? Microfluidics. 2018 [cited 2023 July 20]; Available from: https://www.ascb.org/science-news/whats-it-all-about-microfluidics/.

6- S.C. Terry, J.H. Herman, J.B. Angell A gas chromatographic air analyzer fabricated on a silicon wafer IEEE Trans Electron Devices., 26 (12) (1979), pp. 1880-1886, 10.1109/T-ED.1979.19791

7- Aarathi Pradeep , Jeethu Raveendran , T.G. Satheesh Babu, Chapter Five - Design, fabrication and assembly of lab-on-a-chip and its uses, https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2021.07.021

8-Author links open overlay panelDaphika S. Dkhar a 1, Rohini Kumari a 1, Shweta J. Malode b, Nagaraj P. Shetti b c, Pranjal Chandra, Integrated lab-on-a-chip devices: Fabrication methodologies, transduction system for sensing purposes, https://doi.org/10.1016/j.jpba.2022.115120

9-Wenzhao, J., Bandodkar, A., Ramirez, G., Windmiller, J., Yang, Z., Ramirez, J., et al. (2013). Electrochemical tattoo biosensor for real—Time noninvasive lactate monitoring in human perspiration. Analytical Chemistry, 85(14), 65553–66560.

10-Smith, I. A. (2014). You wear it so well. The Analytical Scientist, 0314, 1–4.

11-Socolow, B. (2015). Wearable tech will change pro sports—and sports law. http://www.law360.com/articles/701415/wearable-tech-will-change-pro-sports-and-sports-law Accessed February 5, 2016.

12-Brousell, L. (2014). CIO—Data and analytics will change sports. http://www.cio.com/article/2377954/data-management/data-management-8-ways-big-data-and-analytics-will-change-sports.html.Accessed May 8, 2016.

13-Saxon, L. (2011). Beyond moneyball: How biosensors are already changing sports today. http://venturebeat.com/2011/09/23/moneyball-bio-sensors-sports. Accessed December 15, 2015.

14-Y. Huang and A. J. Masona, "Lab-on-CMOS integration of microfluidics and electrochemical sensors," *Lab Chip*, vol. 13, pp. 3929–3934, 2013.

15-S. F. Jackson and D. C. Cole1, "Graduate global public health education: activities and outcomes in relation to student prior experience, *"Global J. Health Sci.*, vol. 5, no. 3, 2013.

16- Y. H. Ghallab and W. Badawy, *Lab-on-a-Chip: Techniques, Circuits and Biomedical Applications.* Norwood, MA: Artech House, 2010.

17- G. Medoro, N. Manaresi, A. Leonardi, L. Altomare, M. Tartagni, and R. Guerrieri, "A Lab-on-a-chip for cell detection and manipulation," IEEE Sens. J., vol. 3, no. 3, pp. 317–325, 2003.

18- N. Manaresi, G. Medoro, M. Tartagni, L. Altomare, and R. Guerrieri, Microelectronics meets biology: Challenges and opportunities for functional integration in lab-on-a-chip" in Proc. 28th Solid-State Circuits Conf. (ESSCIRC 2002), 2002, pp. 37–42.

19- Sanchez-Salmeron, A. J.; Lopez-Tarazon, R.; Guzman-Diana, R.; Ricolfe-Viala, C. (2005-08-30). "Recent development in micro-handling systems for micro-manufacturing". Journal of Materials Processing Technology. 2005 International Forum on the Advances in Materials Processing Technology. ***167*** *(2): 499–507. doi:10.1016/j.jmatprotec.2005.06.027*

20- *Microfluidics and BioMEMS Applications*. Microsystems. Vol. 10. SpringerLink. 2002. doi:10.1007/978-1-4757-3534-5