

KI-gestütztes Sensorpflaster ermöglicht schonende Überwachung von Frühgeborenen

Transfer Computational Health ICB, IML

Forschende von Helmholtz Munich haben gemeinsam mit internationalen Partnern ein ultradünnes Sensorpflaster entwickelt, das wichtige Gesundheitsparameter bei Frühgeborenen nicht-invasiv erfassen kann. Das auf Seide basierende Pflaster misst Temperatur, pH-Wert, Natrium- und Glukosewerte über Körperflüssigkeiten, die natürlich über die Haut abgegeben werden. Ein KI-gestütztes Auswertungssystem analysiert die Farbveränderungen des Sensors und ermöglicht so eine kontinuierliche Überwachung - ganz ohne Blutentnahmen oder zusätzliche Belastungen für frühgeborene Babys.

Frühgeborene gehören zu den empfindlichsten Patient:innen in der Medizin. Die Überwachung ihres Gesundheitszustands erfordert häufig zahlreiche Sensoren sowie wiederholte Blutentnahmen zur Kontrolle wichtiger physiologischer Parameter. Ein internationales Forschungsteam unter Beteiligung von Helmholtz Munich hat nun ein ultradünnes, seidenbasiertes Sensorpflaster entwickelt, das mehrere Biomarker gleichzeitig über Hautflüssigkeiten erfassen kann. Die Ergebnisse wurden in der Fachzeitschrift ACS Sensors veröffentlicht.

„Neugeborene sind die anspruchsvollsten Patient:innen, die wir behandeln“, sagt Letztautorin Anne Hilgendorff, Neonatologin und Wissenschaftlerin bei Helmholtz Munich und der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. „Was wir entwickelt haben, ist genau auf diese Realität zugeschnitten: keine Nadeln, keine Kabel, nichts, das an der Haut zieht oder sie reizt. Nur ein kleines Pflaster, das auf den Körper hört.“

Warum eine einzelne Messgröße nicht ausreicht

Die meisten heute verfügbaren nicht-invasiven Überwachungssysteme für Säuglinge – etwa Pulsoximeter oder Hautthermometer – erfassen jeweils nur einen einzelnen Parameter. Ärzt:innen müssen diese isolierten Messwerte anschließend im klinischen Kontext interpretieren.

Der menschliche Körper funktioniert jedoch nicht über einzelne Kennzahlen. Der Natriumwert eines Säuglings lässt sich nur im Zusammenhang mit dem Flüssigkeitshaushalt, der Körpertemperatur oder dem Stoffwechselzustand bewerten. Ein sinkender Glukosewert kann eine völlig andere Bedeutung haben, wenn sich gleichzeitig auch der pH-Wert verändert. Kritische Ereignisse wie Sepsis, Dehydrierung oder Stoffwechselentgleisungen zeigen sich häufig als Muster mehrerer physiologischer Veränderungen und nicht durch einen einzelnen Alarmwert.

Das neue Pflaster fungiert daher als eine Art miniaturisiertes physiologisches Dashboard. Zwölf unterschiedliche Farbstoffe, die auf einer biokompatiblen Scheibe aus Seide und Papier aufgebracht sind, reagieren jeweils auf unterschiedliche biologische Parameter.

Funktionsweise des Sensors

Der Sensor besteht aus mehreren Schichten, die jeweils nur Bruchteile eines Millimeters dick sind. Die Basis bildet ein aus Seidenraupenkokons gewonnenes Seidenfibroin, das empfindliche

biologische Moleküle – darunter Enzyme, die normalerweise gekühlt werden müssen – stabilisiert. Dadurch ist das Pflaster robust und bei Raumtemperatur lagerfähig.

Eine zweite, wachsbedruckte Papierschicht fungiert als mikrofluidisches System. Sie nimmt kleinste Flüssigkeitsmengen auf – bereits drei Mikroliter pro Messpunkt – und leitet sie zu den einzelnen Sensorfeldern weiter. Eine wasserdichte medizinische Klebeschicht schützt das System vor der warmen und feuchten Umgebung eines Inkubators und sorgt gleichzeitig dafür, dass sich das Pflaster flexibel an die Haut anpasst.

Sobald Schweiß, Speichel oder interstitielle Flüssigkeit mit den Farbstoffen in Kontakt kommen, verändern diese ihre Farbe. Die jeweiligen Farbänderungen spiegeln Veränderungen von Glukose-, Natrium-, Temperatur- oder pH-Werten wider.

Da Farbveränderungen unter unterschiedlichen Lichtbedingungen nur schwer zuverlässig ausgewertet werden können, entwickelte das Forschungsteam ein KI-basiertes Deep-Learning-Modell. Dieses korrigiert automatisch Einflüsse durch Beleuchtung, Kamerawinkel oder Bewegungen und wandelt die Farbwerte in präzise Messdaten um.

In Tests erreichte das System eine mittlere Abweichung von etwa 0,5 Grad Celsius bei der Temperaturmessung sowie weniger als 0,5 pH-Einheiten bei der Bestimmung des Säuregrades. Klinisch relevante Schwellenwerte – darunter Hypoglykämie, Hypernatriämie oder die für die Diagnose von Mukoviszidose relevanten Salzkonzentrationen – wurden mit einer Genauigkeit von mehr als 91 Prozent erkannt, bei niedrigen Blutzuckerwerten sogar mit über 98 Prozent Genauigkeit.

Ein zweites KI-Modell kann das Pflaster zudem durch die Kunststoffwände eines Inkubators hinweg erkennen und verfolgen – selbst wenn Kabel, Decken oder medizinisches Personal das Sichtfeld zeitweise verdecken.

Ein Meilenstein für die nicht-invasive Überwachung

Das Pflaster nutzt gezielt eine Besonderheit von Frühgeborenen: Da ihre Hautbarriere noch nicht vollständig entwickelt ist, verlieren sie vergleichsweise große Mengen Flüssigkeit über die Haut. Diese Flüssigkeit stellt eine kontinuierliche und schmerzfreie Probenquelle dar.

Innerhalb von etwa 15 bis 40 Minuten sammelt das Pflaster ausreichend Flüssigkeit, um alle vier Biomarker zu analysieren. Die benötigte Probenmenge entspricht dabei ungefähr derjenigen eines standardmäßigen Schweißtests zur Mukoviszidose-Diagnostik – allerdings ohne die hierfür übliche leichte elektrische Stimulation.

In Pilotstudien mit Speichel- und Schweißproben von Erwachsenen unter verschiedenen Bedingungen – darunter Fasten, körperliche Belastung und Mahlzeiten – zeigte der Sensor dieselben Trends wie etablierte Laborverfahren und Blutzuckermessungen mittels Fingerstich. Dies deutet darauf hin, dass das System reale physiologische Veränderungen zuverlässig erfassen kann.

„Wir wollen Labordiagnostik nicht ersetzen“, sagt Benjamin Schubert, *Leiter einer vom Deutschen Zentrum für Lungenforschung (DZL) geförderten Forschergruppe am Computational Health Center von Helmholtz Munich*. „Unser Ziel ist es, Veränderungen zu erkennen, die zwischen zwei Laboruntersuchungen auftreten – die schleichende Entwicklung eines Problems, das oft erst bemerkt wird, wenn bereits ein Notfall eingetreten ist. Genau hier kann eine kontinuierliche, nicht-invasive Überwachung Leben retten.“

Aufbauend auf einer wachsenden Technologieplattform

Das Sensorpflaster für die Neonatalmedizin ist Teil einer umfassenderen Forschungsinitiative des Silklab und seiner Partnerinstitutionen. Ziel ist es, Seide als vielseitige Plattform für biomedizinische Sensorik zu etablieren.

Frühere Arbeiten der Forschungsgruppe zeigten bereits papierbasierte Seidenpflaster zur Echtzeitmessung von Laktat im Schweiß. Weitere Studien, die gemeinsam mit dem Institute for Protein Design der University of Washington durchgeführt wurden, demonstrierten, dass sich computergestaltete Proteine in Seidenmaterialien integrieren lassen, um Viren, Toxine oder Krebsmarker mit hoher Empfindlichkeit nachzuweisen.

Darüber hinaus konnten die Forschenden zeigen, dass sich die verwendeten Seidentinten auch auf Alltagsgegenstände wie Kleidung, Handschuhe oder Masken aufbringen lassen. Dies eröffnet langfristig die Möglichkeit, Sensorik direkt in alltägliche Materialien zu integrieren.

Zusammengenommen weisen diese Entwicklungen auf eine Zukunft hin, in der biomedizinische Überwachung nicht mehr ausschließlich an komplexe Krankenhausgeräte gebunden ist, sondern unauffällig und kontinuierlich in den Alltag integriert werden kann.

Nächste Schritte

Die Forschenden betonen, dass es sich bei der aktuellen Arbeit um einen Proof of Principle handelt. In den nächsten Schritten sollen größere Studien in neonatologischen Intensivstationen durchgeführt werden. Dabei sollen die Messergebnisse des Pflasters mit klassischen Blutanalysen verglichen werden, um die Aussagekraft der über die Haut gewonnenen Daten weiter zu validieren.

Zudem soll das KI-System mit Daten aus unterschiedlichen Inkubatormodellen, Beleuchtungssituationen und Hauttönen trainiert werden. Weitere toxikologische Untersuchungen sowie regulatorische Studien sind ebenfalls geplant.

Langfristig könnte die Technologie um zusätzliche Parameter wie Sauerstoffsättigung oder Kohlendioxidmessungen erweitert werden. Da das Pflaster kostengünstig hergestellt werden kann und weder Stromversorgung, Verkabelung noch Kühlung benötigt, eignet es sich besonders für den Einsatz in ressourcenarmen Regionen, in denen moderne Überwachungstechnologien häufig nur eingeschränkt verfügbar sind.

Original-Publikation

Alejandra Castelblanco et al., 2026: Artificial Intelligence-Supported Colorimetric Multibiomarker Sensor to Enable Critical Neonatal Monitoring. ACS Sensors. [DOI: 10.1021/acssensors.5c04171](https://doi.org/10.1021/acssensors.5c04171)