

ADIÓS AL DOLOR DE ESPALDA: LA CAMISETA DEL FUTURO QUE ESCUCHA TU CUERPO

CONTACT DETAILS:

Relaciones con la Empresa
Oficina de Transferencia de Resultados de la Investigación-OTRI
Universidad de Alicante
Tel.: +34 96 590 99 59
Email: areaempresas@ua.es
<http://innoua.ua.es>

ABSTRACT

Investigadores del Área de Educación Física y Deportes de la Universidad de Alicante han desarrollado una novedosa prenda textil inteligente que permite monitorizar en tiempo real y de forma objetiva la columna lumbar.

La principal innovación radica en los electrodos en 3D bordados en el propio textil con una configuración especial que, combinados con sensores de última generación y un adecuado entrenamiento con modelos avanzados de Inteligencia Artificial, miden diferentes señales bioeléctricas y movimientos, eliminando la subjetividad en el diagnóstico del dolor. Entre las principales ventajas, destaca el correcto diagnóstico y valoración funcional, su alta precisión, el confort y facilidad de uso, así como la personalización a las necesidades del usuario, entre otras.

Esta tecnología tiene aplicación en hospitales, clínicas de rehabilitación, mutuas aseguradoras, gimnasios e investigación. Se buscan empresas interesadas en adquirir esta tecnología para su explotación comercial a través de acuerdos de licencia de la patente.

INTRODUCTION

La detección, diagnóstico y seguimiento en tiempo real de lesiones lumbares es compleja. Por un lado, porque es necesario realizar medidas puntuales fuera de la actividad cotidiana y, por otro lado, porque lleva asociado un componente subjetivo relativo a la percepción del dolor por parte del usuario.

Además, las señales biométricas o bioeléctricas que habitualmente se emplean para detectar o monitorizar lesiones, tales como electrocardiograma (ECG), variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV), electromiografía de superficie (sEMG) o actividad electrodérmica (EDA), ofrecen una elevada variabilidad, por lo que la información proporcionada debe ser cuidadosamente analizada e interpretada para que tenga utilidad práctica, y esta variabilidad está relacionada con la calidad de la señal captada por los electrodos encargados de adquirir las señales.

En este sentido, sin una correlación adecuada entre las señales bioeléctricas y el movimiento, posición o postura del usuario, no es posible lograr una valoración objetiva de la condición de la columna lumbar.

Las tecnologías que existen actualmente en el mercado no proporcionan una valoración precisa y objetiva, bien porque se basan en una única señal biométrica, bien porque emplean electrodos adheridos a la piel que restan operatividad al equipo y precisión a las señales adquiridas, o bien, porque no es posible medir de forma efectiva la curvatura de la zona lumbar. Además, los algoritmos de *Machine Learning* empleados sólo se utilizan para monitorizar las señales, por lo que los dispositivos actuales no permiten identificar la presencia de dolor y sus grados de forma objetiva.

Por consiguiente, hasta la fecha, no existe ningún dispositivo comercial que permita medir de forma precisa todos los parámetros biomédicos necesarios, ni combina todas estas medidas con la monitorización de las posturas y de los movimientos para una valoración funcional y objetiva de las lesiones o del estado de la columna lumbar.

TECHNICAL DESCRIPTION

Con el objetivo de resolver la necesidad anterior, se ha desarrollado una **prenda textil inteligente que permite la valoración funcional y la monitorización continua en tiempo real de la columna lumbar**, resolviendo así el problema de la subjetividad en el diagnóstico del dolor de espalda.

A continuación, se detallan los componentes de la prenda, así como su funcionamiento:

1. Componentes de la prenda:

- **Cuerpo textil flexible:** Sirve de soporte para los demás componentes, permitiendo la adaptación al cuerpo del usuario. Puede ser de diversos materiales textiles (celulósicos, poliméricos, ambas combinaciones) y confección (de calada, elástico, etc.), priorizando la comodidad y la transpirabilidad. Como ejemplo de configuración de la prenda, podría ser en forma de chaleco, camiseta de manga corta o camiseta de manga larga.
- **Electrodos textiles integrados:** Bordados directamente en el tejido, captan diferentes señales bioeléctricas (ECG, HRV, sEMG, EDA) de forma no invasiva. Su configuración tridimensional, con múltiples capas de hilo conductor y una pieza de espuma intermedia, asegura un contacto óptimo con la piel y una señal de alta calidad, minimizando ruidos e imprecisiones. En las prendas de manga larga, se puede incluir un electrodo EDA en la palma de la mano para mejorar la conductividad. Los electrodos ECG se sitúan en el pectoral y los electrodos sEMG en la espalda, coincidiendo con los músculos relevantes.
- **Configuración del electrodo:** Se utilizan diferentes hilos conductores en estructura multicapa y con diferentes orientaciones para asegurar una conductividad homogénea. La espuma intermedia entre las capas proporciona volumen y un contacto continuo con la piel.
- **Sensores inerciales IMU:** Al menos, dos unidades, cada una con un acelerómetro y un giroscopio de 3 ejes, que registran los movimientos y las posturas del usuario, incluyendo la curvatura de la espalda. La combinación de estos sensores con otras señales bioeléctricas permite una valoración más completa.
- **Electrónica de control:** Adquiere, procesa y digitaliza las señales de los electrodos y los sensores IMU. Incluye un conversor analógico-digital con múltiples canales de entrada.
- **Batería:** Alimenta los componentes electrónicos.
- **Sistema de transmisión de datos:** Permite la comunicación entre la prenda y un dispositivo externo (servidor, ordenador, teléfono, tableta) para la gestión y visualización posterior de los datos.
- Opcionalmente, un **sensor PPG** (fotoplethismografía): Para una doble validación de la medición del ritmo cardíaco y/o la monitorización de la presión arterial.

2. Sistema de valoración y monitorización:

- **Software:** Recibe y almacena los datos de la prenda. Utiliza técnicas de Big Data e Inteligencia Artificial (IA) para el análisis.
- **Etiquetado de datos:** El *software* permite etiquetar los datos de las señales bioeléctricas y de movimiento según la percepción del dolor del usuario (por ejemplo: "dolor intenso", "dolor leve", "sin dolor") durante una serie de actividades físicas guiadas.
- **Entrenamiento del modelo de IA:** Con los datos etiquetados, se entrena un modelo de *Machine Learning* multicapa (redes neuronales, redes bayesianas, árboles de decisión, máquinas de vectores de soporte, algoritmos genéticos, regresión).
- **Monitorización en tiempo real:** El *software* compara los nuevos datos de la prenda con el modelo entrenado para predecir el estado de la columna lumbar del usuario y el nivel de dolor, eliminando la subjetividad.
- **Comunicación de resultados:** Una aplicación en el dispositivo externo muestra los resultados al usuario o al profesional.

3. Procedimiento de uso:

1. **Inicio:** El usuario se coloca la prenda textil inteligente.
2. **Verificación del sistema:** Se comprueba que el sistema esté encendido y que la señal ECG se esté captando correctamente. Si hay algún problema, se revisa la conexión, la batería o los electrodos.
3. **Actividades físicas:** El usuario realiza una serie de ejercicios guiados que implican movimientos de flexión, torsión y extensión de la zona lumbar para medir los esfuerzos y las sensaciones del paciente en situaciones muy distintas.
4. **Captura de datos:** Simultáneamente, los electrodos textiles captan las señales bioeléctricas (EDA, sEMG, ECG), y los sensores IMU registran los movimientos y posturas del usuario.
5. **Procesamiento y digitalización:** La electrónica de control procesa y digitaliza las señales captadas por los sensores.
6. **Transmisión de datos:** Los datos procesados se transmiten a un dispositivo electrónico.
7. **Recepción y almacenamiento:** El *software* instalado en el dispositivo recibe y almacena los datos.
8. **Registro del dolor:** Se pregunta al usuario si experimenta dolor durante los ejercicios. Si la respuesta es afirmativa, se

registra el nivel de dolor en la aplicación (dolor intenso o dolor leve). Si no hay dolor, se continúa con la monitorización.

9. **Etiquetado de datos:** El *software* etiqueta los datos con el nivel de dolor registrado por el usuario, lo cual es crucial para el entrenamiento del modelo de IA.

10. **Almacenamiento en base de datos:** Los datos etiquetados se almacenan en una base de datos para su posterior análisis y entrenamiento del modelo de IA.

11. **Entrenamiento del modelo de Inteligencia Artificial:** Se utiliza un modelo de *Machine Learning* multicapa para aprender a asociar las señales bioeléctricas y los datos de movimiento con los diferentes niveles de dolor.

12. **Modelo entrenado:** Se obtiene un modelo de IA entrenado y listo para realizar predicciones.

13. **Monitorización en tiempo real:** El sistema recibe nuevos datos de la prenda en tiempo real mientras el usuario la lleva puesta.

14. **Preprocesamiento e inferencia:** El *software* preprocesa los nuevos datos y los introduce en el modelo de IA entrenado para obtener una predicción del estado de la columna lumbar y del nivel de dolor.

15. **Visualización de resultados:** La aplicación muestra los resultados al usuario o al profesional de la salud.

16. **Continuar con la monitorización:** El ciclo de monitorización continúa, permitiendo un seguimiento continuo del estado del usuario.

A continuación, se muestra un diagrama de flujo del proceso a modo de resumen (véase *Imagen 1*):

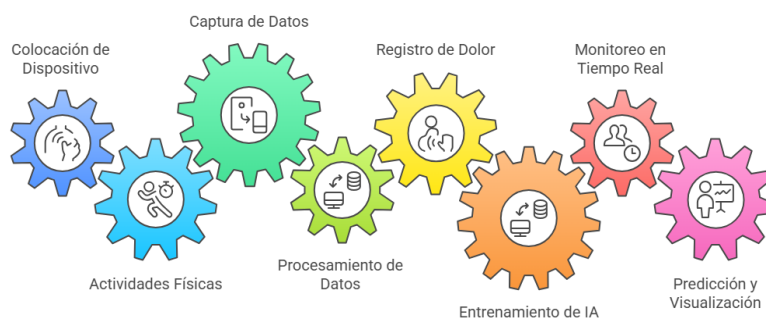


Imagen 1: Diagrama de flujo del procedimiento.

ADVANTAGES AND INNOVATIVE ASPECTS

VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA

Esta novedosa prenda textil inteligente aporta las siguientes **ventajas**:

- Permite **detectar el dolor lumbar de forma objetiva** en base a una escala, eliminando el componente subjetivo asociado a la percepción del dolor mediante la aplicación de la inteligencia artificial.
- Permite hacer una **valoración y clasificación funcional** de las lesiones o del estado de la columna lumbar.
- Permite medir de forma **precisa** todos los parámetros biomédicos y biomecánicos necesarios, incluso detectar la curvatura de la espalda gracias a los sensores IMV.
- La prenda es **confortable y fácil de usar**.
- La información aportada es **muy fiable** gracias a los electrodos textiles integrados en la propia prenda que permiten captar distintas señales bioeléctricas del usuario.
- La medición de EDA en la palma de la mano proporciona una **mejor conductividad** respecto a otras zonas del cuerpo, ya que la conductividad de la piel se suma a la conductividad de la sudoración de la mano, que presenta una gran cantidad de glándulas sudoríparas.
- Los electrodos textiles presentan una configuración innovadora en tres dimensiones que redundará en una **mejor calidad** de las señales adquiridas respecto a los electrodos planos o de dos dimensiones, **minimizando ruidos e imprecisiones** en las mismas.
- La configuración tridimensional del electrodo lograda con la pieza de espuma intercalada asegura un contacto íntimo y continuo con la piel del usuario, lo que se traduce en una **calidad óptima** de las señales adquiridas por el electrodo.
- Las diferentes capas de bordado del electrodo tridimensional aseguran una **distribución homogénea** de la conductividad.
- Permite **reducir e incluso eliminar las interferencias electromagnéticas** externas.
- **Aumenta hasta 6 veces la amplitud de la señal**, lo que permite identificar con mayor facilidad las ondas características de las diferentes señales bioeléctricas.
- **Se reduce el rizado de la señal**, llegando a un punto que no interfiere en la identificación de las ondas de pequeña amplitud con es la onda P del electrocardiograma.

- La monitorización continua permite un **seguimiento a largo plazo**.
- Destaca la **personalización del sistema**, ya que el modelo de Inteligencia Artificial se entrena con los datos del propio usuario.
- La detección temprana **permite la prevención**.
- Se mejora la **adaptación al tratamiento**.

ASPECTOS INNOVADORES DE LA TECNOLOGÍA

La principal innovación radica en los **electrodos tridimensionales integrados en la propia prenda textil** que permiten captar distintas señales bioeléctricas o datos médicos del usuario. La combinación de estas señales con los datos de posturas y movimientos recogidos adicionalmente por la prenda, permiten tanto realizar una **valoración objetiva**, como llevar a cabo el **seguimiento del tratamiento posterior**, pudiendo modificar dicho tratamiento en función de los resultados que se vayan registrando posteriormente. El electrodo textil presenta una **configuración de bordado específica** que asegura una distribución homogénea de la conductividad, **asegurando una excelente calidad en la señal bioeléctrica**.

Además, la invención utiliza **herramientas de Inteligencia Artificial y Big Data**, lo que permite profundizar en el estudio y conocimiento de los mecanismos y causas que intervienen en el dolor lumbar. Analizando esta información, es posible establecer **estrategias para su prevención**, así como posibles **tratamientos**.

La combinación de las diferentes señales fisiológicas junto con la monitorización de movimiento y postura del usuario, además del empleo de Inteligencia Artificial, consigue que el sistema sea capaz de llevar a cabo la **valoración funcional y monitorización de la columna lumbar de forma objetiva**.

CURRENT STATE OF DEVELOPMENT

La tecnología se encuentra en un estado de madurez correspondiente a **TRL = 4 (Technology Readiness Level)**.

Se ha desarrollado con éxito un **prototipo** de la prenda textil inteligente configurado a modo de **camiseta de manga larga** con cierre de cremallera central donde las mangas presentan una prolongación a modo de guante sin dedos que cubre la palma de la mano, de modo que los dos electrodos para la adquisición de la señal EDA quedan dispuestos en contacto con la palma de la mano del usuario; los electrodos de adquisición de la señal ECG quedan situados en la zona pectoral, y los electrodos de adquisición de la señal sEMG quedan dispuestos en la zona lumbar y abdominal (*véase Figura 1*):



Figura 1: Prototipo de la prenda textil inteligente.

A continuación, se muestra el detalle de la prolongación de la manga de la prenda textil inteligente con los electrodos que miden la señal EDA bordados sobre la misma, así como una imagen de la prolongación dispuesta sobre la mano del usuario, quedando cubiertos los electrodos por una porción adicional de tela (*véase Figura 2*):

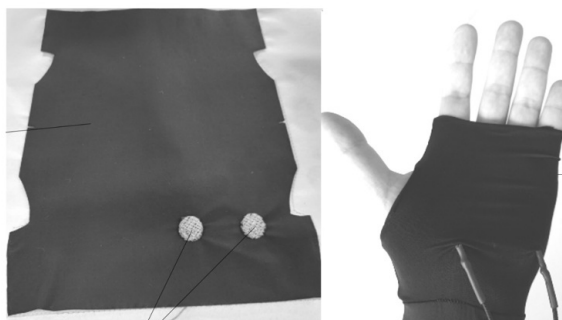


Figura 2: Detalle de la prolongación de la manga de la prenda textil con dos electrodos.

Finalmente, se observa una comparativa entre un **ejemplo de señal ECG** medida con un **electrodo textil plano bidimensional** que proporciona un contacto deficiente con la piel del usuario (lo que se traduce en un ruido de rizado por interferencias electromagnéticas permanentes, efecto que se ve ampliado con una tendencia de movimiento provocado por la propia respiración del usuario), frente a un ejemplo de señal ECG medida con un **electrodo textil tridimensional bordado en la propia prenda textil** que impide que el electrodo se deslice por la piel, aumentando así la conductividad electrodo-piel y mejorando la calidad de la señal (véase Figura 3):

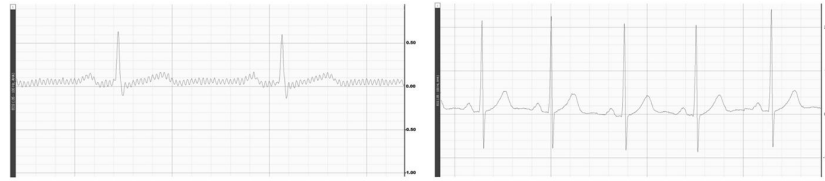


Figura 3: Señal ECG medida con un electrodo plano frente a la medida con un electrodo textil bordado tridimensional, respectivamente.

MARKET APPLICATIONS

La presente invención se refiere a una prenda o complemento textil inteligente con capacidad para monitorizar movimientos, posturas y señales fisiológicas para su aplicación en la **prevención, detección y tratamiento de las lesiones lumbares o de espalda**, clasificando las sensaciones de paciente de forma objetiva en base a una escala (permite conocer si sufre dolor o no, así como el grado del mismo).

Se trata, por tanto, de una herramienta innovadora con capacidad para la **monitorización continua de los pacientes con enfermedades causantes del dolor de espalda** que puede ser muy interesante para los siguientes sectores:

- Hospitales.
- Clínicas.
- Rehabilitación.
- Mutuas aseguradoras.
- Gimnasios con personal técnico especializado.
- Investigación.

COLLABORATION SOUGHT

Se buscan empresas interesadas en adquirir esta tecnología para su **explotación comercial** mediante acuerdos de **licencia de la patente**.

Perfil de empresa buscado:

- Empresas textiles.
- Empresas de electrónica.
- Empresas desarrolladoras y comercializadoras de *software* sanitario y/o deportivo.

INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

La presente invención se encuentra protegida mediante **solicitud de patente**:

- Título de la patente: *“Prenda textil inteligente, sistema y procedimiento de valoración funcional y monitorización de la columna lumbar empleando dicha prenda textil inteligente”*.

- Número de solicitud: P202430770
- Fecha de solicitud: 26 de septiembre de 2024.

MARKET APPLICATION (3)

Calzado y Textil
Materiales y Nanotecnología
Medicina y Salud