

SISTEMA MULTIMODAL DE APOYO A LA VALORACIÓN MOTORA Y MÉTODO IMPLEMENTADO POR COMPUTADOR PARA REALIZAR LA ADQUISICIÓN, EL PROCESAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE SEÑALES PARA DICHA EVALUACIÓN

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un sistema o un dispositivo electrónico y el método de procesamiento de información para la presentación, intercambio y valoración motora del cuerpo humano con aplicación en el ámbito clínico (rehabilitación física, fisioterapia), en el ámbito industrial (ergonomía, salud ocupacional) y en el ámbito deportivo (medicina deportiva).

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

En el estado de la técnica se conocen diferentes productos y métodos para apoyo a la valoración motora del cuerpo humano, entre ellos encontramos:

La solicitud con numero de referencia **US2017231533** y con título **“SYSTEMS AND METHODS FOR JOINT ACTIVITY MONITORING”**, se refiere a un dispositivo y métodos para el monitoreo de actividad motora conjunta que se compone, entre otros, de un sensor, un procesador, un registrador de datos, y un radio. El sensor puede integrar un magnetómetro, un acelerómetro y/o un giroscopio. El dispositivo puede diseñarse para detectar el campo magnético producido por un imán cercano. El sistema incluye una estación base que puede procesar y almacenar los resultados del dispositivo sensor, y puede mostrarla en una variedad de interfaces posibles, por ejemplo, una interfaz gráfica de usuario, una aplicación móvil de un dispositivo de comunicación móvil, como un teléfono, tableta, computadora portátil o asistencia digital personal, o un sitio web, al que se puede acceder mediante un dispositivo con acceso a Internet. La estación base puede incluir una radio que puede configurarse para comunicarse con la radio del dispositivo sensor. La estación base también puede incluir una computadora y una base de datos para almacenar información. El sistema incluye un dispositivo móvil que se puede usar para recibir datos del dispositivo sensor y mostrar los datos con una aplicación móvil y una interfaz de aplicación móvil.

El producto mencionado incluye un método para analizar la cinemática de una articulación de un ser vivo. El método incluye proporcionar una función que se utilizará para calcular una distancia específica en función del campo magnético medido. El método utiliza los sensores en el dispositivo para reunir cualquier movimiento relevante. Por ejemplo, los sensores pueden medir el campo magnético, la aceleración y la velocidad angular, las señales se pueden filtrar y los parámetros de movimiento se pueden detectar para identificar el movimiento de la articulación (aceleración y la velocidad angular). La distancia medida se puede utilizar para calcular un ángulo de articulación. Esto se puede hacer dado que se conocen las distancias fijadas entre el imán y el sensor de la articulación. La distancia fuera del eje entre el imán y el sensor se puede calcular y la trigonometría se puede usar para calcular el ángulo de la articulación al conocer la longitud de cada lado del triángulo formado. El método puede incluir el cálculo de varios parámetros de la articulación y la marcha, como el ángulo de flexión y extensión, los ángulos de rotación hacia adentro y hacia afuera, la longitud de zancada, el tiempo de giro, el tiempo de postura, la simetría de marcha, la cadencia, el rango de movimiento y otros. Los datos pueden almacenarse localmente y/o transmitirse de forma inalámbrica, por ejemplo, para ser presentados al usuario a través de una interfaz.

Una vez que se calculan los parámetros de la articulación y la marcha se puede almacenar de forma simultánea. Si el receptor es un dispositivo móvil, la salida se puede presentar en una interfaz de aplicación móvil, se le puede permitir al usuario compartir la salida con otros. Si el receptor no es un dispositivo móvil, los datos se pueden almacenar en una base de datos de una estación base y la salida de la información se puede presentar a través de una interfaz de usuario gráfica de escritorio, un sitio web o se puede transmitir a una interfaz de aplicación móvil.

En el mismo sentido, encontramos la solicitud de patente internacional con numero de publicación **WO2017132563** y titulada **“JOINT DISORDER DIAGNOSIS WITH 3D MOTION CAPTURE”** que revela una tecnología de diagnóstico médico específicamente, se refiere a un sistema de captura de movimiento tridimensional usado para mejorar la consistencia en el diagnóstico de trastornos articulares. El sistema de captura de movimiento (MCS) incluye sensores ubicados en un dispositivo de captura de movimiento, se pueden colocar diferentes tipos de sensores alrededor de las articulaciones del cuerpo para proporcionar al usuario datos específicos que muestran el movimiento y la posición de los huesos y músculos que forman una articulación en problemas. Un traje en varios tamaños y

ajustes para adaptarse a los pacientes de diferentes formas. El traje se puede personalizar para diferentes partes del cuerpo, incluyendo hombros, codos, caderas, manos, pies y similares, de diferentes tamaños, también puede comprender una o más correas o accesorios modulares que soportan los sensores sobre la(s) unión(es) problemática(s). De esta manera, no se requiere que un paciente se ajuste a un traje completo, sino que simplemente puede asegurar las correas alrededor de la articulación. De cualquier manera, el traje puede estar hecho de un material cómodo y flexible para facilitar el movimiento sin trabas del paciente durante el análisis.

Preferiblemente, los sensores están unidos en el traje para que estén separados uniformemente. Sin embargo, en algunas realizaciones, no se requiere que los sensores estén separados uniformemente, sino que pueden mantener una cierta distancia entre sí que no cambie sustancialmente. Los sensores pueden ser planos con respecto al traje del cuerpo, pueden ser no planos (por ejemplo, sobresalir) con respecto al traje del cuerpo, o una combinación de los mismos. Los sensores pueden tener una o más formas geométricas. Por ejemplo, los sensores se pueden implementar con círculos, triángulos, cuadrados o rectángulos. Además, los sensores pueden estar cubiertos o compuestos de un material luminoso, o pueden ser autoiluminados, como los sensores que incorporan diodos emisores de luz (LED).

En una realización donde los elementos se implementan usando software, el software puede almacenarse en un medio de almacenamiento legible por computadora y cargarse en la computadora de diagnóstico utilizando, por ejemplo, la unidad de almacenamiento extraíble o las interfaces de comunicaciones. La solicitud mencionada incluye un método de diagnóstico de un trastorno articular de acuerdo con una realización. El método de diagnóstico del trastorno de la mencionada solicitud contiene previamente una evaluación de la información del paciente. En la siguiente etapa, los datos iniciales relacionados con el paciente se ingresan en una computadora de diagnóstico. Los datos iniciales pueden comprender la altura del paciente, el peso, el sexo, la edad, el índice de masa corporal (IMC), el porcentaje de grasa corporal, la circunferencia del apéndice y similares. Además, se puede ingresar información adicional, incluyendo el historial médico general, el historial médico asociado con una o más articulaciones problemáticas, los regímenes de tratamiento actuales y la información de imágenes.

Esta información puede ser considerada como parte del protocolo de diagnóstico. Antes o junto con la etapa anterior se evalúa el paciente. A continuación, se monitoriza el movimiento del paciente. La supervisión del paciente implica someter al paciente a uno o más rangos de movimiento seleccionados, o pruebas y evaluar la articulación en problemas. Es decir, el paciente ejecuta movimientos biomecánicos seleccionados diseñados para proporcionar una imagen significativa de la biomecánica funcional del paciente y/o posibles anomalías en el rango de movimiento biomecánico/funcional del paciente, o prueba. En la siguiente etapa, se reciben datos del dolor del paciente cuando el paciente ejecuta los rangos de movimiento o pruebas. A través de un dispositivo de entrada, como un transmisor inalámbrico, el paciente transmite una señal ante una sensación de dolor. Estos "puntos de dolor" pueden considerarse como parte del protocolo de diagnóstico. A continuación, en una nueva etapa se crea opcionalmente un perfil de prueba del paciente a partir de los datos de movimiento capturados y los datos de valor de dolor capturados. El perfil puede ser compilado por hardware y software que residen en, por ejemplo, el ordenador de diagnóstico. Después, se realiza una comparación entre los datos de movimiento capturados del paciente y los datos de dolor y los conjuntos de datos almacenados. El movimiento del paciente puede compararse con patrones modelados en software para representar el movimiento idealizado, es decir, el movimiento modelado del paciente sin un trastorno articular. Finalmente, en función de la comparación, se proporciona un diagnóstico (o diagnóstico probable). A modo de ejemplo, si el paciente muestra fallas particulares en la ejecución de uno o más rangos de movimiento seleccionados, o pruebas y / o dolor en ciertas posiciones al ejecutar los rangos de movimiento seleccionados, o pruebas, esa información se puede compilar para formar una prueba perfil. Como complemento, se puede realizar un refinamiento del diagnóstico inicial. En ese caso, una vez que se han adquirido los datos de movimiento, el software lógico puede analizar el rango de movimiento del paciente, o probar y los puntos de dolor asociados e instruir al paciente para que realice movimientos y actividades adicionales en función de los datos correlacionados y la interpretación del rango de pacientes del paciente.

Finalmente, encontramos la solicitud de patente americana con numero de referencia **US2010249576** y titulada ***“DEVICES, SYSTEMS, AND METHODS OF TRACKING ANATOMICAL FEATURES”*** que propone dispositivos, sistemas y métodos que permiten controlar la posición y/o el movimiento de las estructuras

anatómicas dentro del cuerpo de un paciente. En una realización, el sistema comprende un sensor, una fuente magnética y un receptor. En algunos casos, el sensor es un dispositivo capaz de detectar y medir un campo electromagnético. En una realización, el sensor está unido a una estructura anatómica dentro del cuerpo de un paciente, mientras que la fuente magnética está ubicada fuera del cuerpo del paciente. En ese sentido, una magnitud del campo magnético es medida por el sensor colocado dentro del cuerpo y comunicado al receptor. Los cambios medidos en la magnitud del campo magnético se utilizan para rastrear el movimiento del sensor y, por lo tanto, la estructura anatómica a la que está conectado el sensor.

En una de las versiones del dispositivo se proporciona una fuente magnética implantable que incluye un imán permanente en algunos casos. La fuente magnética implantable incluye circuitos para generar un campo magnético en algunos casos. La fuente magnética implantable incluye una carcasa configurada para acoplarse a características anatómicas óseas o para ser asegurada a características anatómicas de tejidos blandos. En otra versión, se describe un sensor implantable que como en el caso anterior, incluye una carcasa configurada para activar características anatómicas óseas o para ser asegurada a características anatómicas de tejidos blandos.

El método contenido en la mencionada solicitud incluye la introducción de una primera fuente magnética implantable en el cuerpo de un paciente, monitoreo del campo magnético generado por la fuente magnética con un sistema de detección magnético ubicado fuera del cuerpo del paciente para rastrear la posición de la fuente magnética. En algunos casos, el método comprende además una segunda y una tercera fuentes magnéticas implantables en el cuerpo del paciente, fijándolas de manera fija a las porciones segunda y tercera de la primera estructura anatómica, y controlando los campos magnéticos generados por la primera, segunda y tercera fuentes magnéticas implantables. con el sistema de detección magnético colocado fuera del cuerpo del paciente para rastrear las posiciones de la primera, segunda y tercera fuentes magnéticas implantables. En algunos casos, el método comprende además calibrar el sistema de detección magnético colocado fuera del cuerpo para usar con las fuentes magnéticas implantables primera, segunda y tercera.

Los diferentes sistemas revelados en las patentes citadas cumplen solo con el propósito de realizar una comparación entre los datos de movimiento capturados del paciente y los datos de dolor o datos almacenados, además el movimiento de la

persona es comparado con estándares obtenidos en software que representan un movimiento ideal, es decir, el movimiento modelado del paciente sin un problema articular o motriz, mientras que en el dispositivo de la presente solicitud se beneficia el análisis con información cuantitativa acerca de la cinemática, cinética y la actividad muscular de una tarea o actividad a realizar por el trabajador o deportista.

Como es evidente de la vida diaria y de la literatura anterior, la valoración motora del cuerpo humano tiene especial importancia en el ámbito clínico, en el ámbito industrial y en el ámbito deportivo.

En el área clínica, el sistema motor humano y sus trastornos se evalúan y cuantifican cualitativamente utilizando una serie de test clínicos y escalas estandarizadas tales como: Escala de Ashworth, Índice de Barthel, Escala de Fugl-Meyer, Medida de la independencia funcional (MIF), entre otras. Tales escalas proporcionan el resultado de una puntuación clínica para determinar el nivel del déficit. Entre los aspectos que se evalúan en las anteriores escalas están el rango de movimiento, la potencia motora, el tono, el lenguaje, la cognición, campo visual, ataxia, entre otros. En la evaluación cualitativa del sistema motor humano, entre los que están la evaluación de la marcha, el equilibrio y los movimientos humanos en general, se realiza una descripción del movimiento sin la utilización de datos numéricos, con el consiguiente inconveniente del alto grado de subjetividad, a través de valoraciones cualitativas que implican escalas clínicas y criterios de expertos. La valoración podría complementarse con información cuantitativa acerca de la cinemática, cinética y de actividad muscular de una tarea o actividad. Esto proporcionaría métodos de análisis más precisos que permitan obtener datos e información consistentes sobre los cuales fundamentar decisiones terapéuticas y de rehabilitación que permita evaluar o no la mejoría de un paciente si se le somete a determinado tratamiento.

En el campo industrial, tradicionalmente las evaluaciones de riesgos laborales, ergonomía y la medición de los factores de la carga física de trabajo se han realizado mediante observaciones, entrevistas, y cuestionarios, con el consiguiente factor subjetivo, y lo cual se recoge en diferentes métodos. Los campos de la ergonomía y la salud y seguridad en el trabajo son disciplinas que promueven y protegen la salud de los trabajadores, y que se pueden beneficiar con información cuantitativa acerca de la cinemática, cinética y de actividad muscular de una tarea o actividad a realizar por el trabajador.

En el ámbito deportivo, la valoración motora se relaciona con la evaluación de las capacidades físicas para lo cual se utilizan pruebas de fuerza, resistencia, flexibilidad, coordinación motriz, entre otras. En la evaluación objetiva de tales pruebas, se requieren mediciones directas del movimiento (cinemática) y la fuerza (cinética), y se puede complementar con información sincronizada de la actividad eléctrica muscular de los músculos que intervienen en las pruebas.

Por todo lo anterior, el problema técnico consiste en que en todos los casos citados y en los demás tratamientos tradicionales, la valoración motora del cuerpo humano se cuantifica de forma cualitativa usando diversas pruebas, escalas y cuestionarios, lo que conlleva un gran inconveniente y es el alto grado de subjetividad que se le imprime al procesamiento de información, a los análisis y valoración motora del cuerpo humano en sus diferentes aplicaciones.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INVENCION

El problema planteado en la presente solicitud como ya se formuló consiste en que en la mayoría de tratamientos citados y en otros tradicionales, la valoración motora del cuerpo humano se cuantifica de forma cualitativa usando diversas pruebas, escalas y cuestionarios, lo que conlleva un gran inconveniente y es el alto grado de subjetividad que se le imprime al procesamiento de información, a los análisis y valoración motora del cuerpo humano en sus diferentes aplicaciones.

Por lo tanto, existe la necesidad de un sistema o dispositivo y un método para la valoración motora que se relacionen con la evaluación de las capacidades físicas que involucren pruebas de fuerza, resistencia, flexibilidad, coordinación motriz, entre otras. En esta evaluación objetiva de estas pruebas, se requieren mediciones directas del movimiento (cinemática) y la fuerza (cinética), y se puede complementar con información sincronizada de la actividad eléctrica muscular de los músculos que intervienen en las diferentes pruebas.

Para solucionar este problema, la solicitud en estudio propone un sistema y método para complementar la valoración tradicional mediante el uso de información cuantitativa proporcionada por sensores de cinemática, cinética y de actividad

eléctrica muscular en la realización de una tarea o actividad. Así mismo, el método proporciona métricas y parámetros cuantificables que permiten la comparación y evaluación motora a partir de la actividad o tarea física realizada por una persona, entre los que se encuentran parámetros del movimiento (exactitud, eficiencia y suavidad), de la fuerza (magnitud promedio) y de la actividad eléctrica muscular (energía de la señal).

El sistema se compone, entre otros, de los siguientes elementos de adquisición de información cinemática (sensores de orientación), elementos de adquisición de información cinética (sensores de fuerza), elementos de adquisición de información de actividad eléctrica muscular (sensores de electromiografía), una unidad de control que esté compuesto por un microcontrolador de altas prestaciones, una interface de usuario mediante LEDs y pulsadores, una aplicación informática ejecutada en un computador.

El método implementado por computador para realizar la adquisición, el procesamiento y caracterización de señales para valoración motora consiste en una serie de etapas que permiten realizar la adquisición, el procesamiento y caracterización de las señales para generar métricas asociadas a dicha evaluación motora. De forma general, estas etapas son etapa de instrumentación del usuario, etapa de captura de información de electromiografía (EMG) correspondiente a contracción máxima voluntaria (CMV), etapa de captura de información, etapa de normalización de la información de electromiografía, etapa de segmentación de la información de electromiografía, etapa de calcular la raíz media cuadrática, etapa de calcular el valor medio absoluto, etapa de calcular la longitud del arco espectral, etapa de visualización y etapa de comparación de métricas.

DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, se acompaña como parte

integrante de dicha descripción, un grupo de figuras en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La Figura 1 es una representación del sistema para la valoración motriz con todos los elementos que lo componen.

La Figura 2 es un esquema del método para la valoración motriz con sus diferentes etapas.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

A continuación, describiremos en detalle el sistema para la valoración motriz. A la vista de la figura 1, el sistema comprende los siguientes elementos y características:

- Elementos de adquisición de información cinemática, lo cual se realiza mediante sensores de orientación (SO). Estos sensores entregan la información de movimiento (velocidad, posición, aceleración) y orientación. Los sensores de orientación (SO) están conectados a la unidad de control (UC) por medio de señal digital (SD).
- Elementos de adquisición de información cinética, mediante sensores de fuerza (SF). Para esto se pueden usar por ejemplo sensores piezorresistivos los cuales tienen características tales como buena linealidad, alta sensibilidad, bajo peso, entre otras. El acondicionamiento de la señal tiene como objetivo captar la señal del sensor y extraer la información para ser digitalizada en la unidad de control, y está conformado por un amplificador operacional en configuración de amplificador seguidor no inversor, lo cual provee un valor de voltaje proporcional a la fuerza ejercida. Además, la electrónica también incluye un filtro pasobajo, para eliminar ruido eléctrico.
- Elementos de adquisición de información de actividad eléctrica muscular, mediante el uso de sensores de electromiografía (SE). Para esto se puede utilizar sensores de electromiografía superficial (SEMG).

Los sensores de fuerza (SF) y los sensores de electromiografía (SE) están comunicados o conectados a la unidad de control por medio de una señal analógica (SA).

- Una unidad de control (UC) que esté compuesto por un microcontrolador de altas prestaciones. Esta unidad se encarga de comunicarse con cada uno de los sensores y enviar la información remotamente a través de comunicación inalámbrica hacia una aplicación informática instalada en un computador. El sistema puede realizar la transmisión de datos por ejemplo usando un protocolo de comunicación inalámbrico, basado en el estándar para redes inalámbricas de área personal, que opera en las bandas libres, el cual tiene como características su bajo consumo de energía (adecuado para aplicaciones portables).

- Una interface de usuario (IU) mediante LEDs (IL) y pulsadores de selección (PS), que permite proporcionar información al usuario y controlar parámetros de ejecución de la unidad de control.

- Una aplicación informática (API) que puede ser ejecutada en un computador (PC) o una Tablet, el cual se comunica con la unidad de control (UC) y permite la visualización de los datos en tiempo real, el control de la captura de información y su almacenamiento en archivos de datos para su posterior procesamiento.

De forma más concreta, el sistema multimodal de apoyo a la valoración motora se encuentra conformado por sensores de orientación (SO), sensores de fuerza (SF) y sensores de electromiografía (SE) que están conectados a la unidad de control (UC). La unidad de control (UC) internamente se compone de un microcontrolador (MC), una batería (B) y un dispositivo de señal inalámbrica (CI) al que se conecta por conexión inalámbrica (CI) un computador (PC) con una aplicación informática de monitorización, control y almacenamiento (API) ejecutada en el computador (PC), el cual se comunica con la unidad de control (UC) para visualización de los datos en tiempo real, control de la captura de información y almacenamiento en archivos de datos para su posterior procesamiento. Una interface de usuario (IU) mediante LEDs (IL) y pulsadores de selección (PS) de información al usuario y control de parámetros de ejecución de la unidad de control (UC).

MÉTODO IMPLEMENTADO POR COMPUTADOR PARA REALIZAR LA ADQUISICIÓN, EL PROCESAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE SEÑALES PARA LA VALORACIÓN MOTORA

El método para la valoración del miembro superior se basa en un algoritmo que permite realizar la adquisición, el procesamiento y caracterización de las señales (mediante la utilización de diversas herramientas matemáticas) para generar métricas asociadas a la evaluación motora.

El Método Implementado por Computador para Realizar la Adquisición, el Procesamiento y Caracterización de Señales para la Valoración Motora comprende las siguientes etapas:

- a) Etapa de instrumentación del usuario. Consiste en ubicar de forma adecuada los sensores de electromiografía, sensores de orientación y sensores de fuerza. La ubicación depende del tipo de movimiento a analizar.
- b) Etapa de captura de información de electromiografía (EMG) correspondiente a contracción máxima voluntaria (CMV). Este proceso se realiza para normalizar la información y consiste en que el usuario realizado realiza la máxima fuerza o contracción que puede realizar, para cada uno de los músculos medidos.
- c) Etapa de captura de información. Consiste en registrar las señales proporcionada por los sensores de electromiografía, sensores de orientación y sensores de fuerza.
- d) Etapa de normalización de la información de electromiografía. Consiste obtener la información de la máxima magnitud obtenida en la CMV, y las posteriormente las señales capturadas en la etapa c son normalizadas respecto a la máxima magnitud, para cada uno de los músculos medidos.
- e) Etapa de segmentación de la información de electromiografía. Consiste en separar los datos capturados en segmentos o ventanas de datos, utilizando segmentos traslapados.

- f) Etapa de calcular la raíz media cuadrática. Consiste en calcular, a partir de los datos de electromiografía de cada segmento, esta métrica que proporciona información sobre la energía de la señal.
- g) Etapa de calcular el valor medio absoluto. Consiste en calcular, a partir de los datos de fuerza, el promedio de fuerza ejercido durante la ejecución del movimiento.
- h) Etapa de calcular la longitud del arco espectral. Consiste en calcular a partir de los datos cinemáticos, específicamente de amplitud y velocidad angular, la longitud del arco espectral el cual es una métrica que proporciona información sobre la suavidad del movimiento durante la ejecución del mismo.
- i) Etapa de visualización. Consiste en proporcionar de forma gráfica, y de forma simultánea, la información correspondiente a la activación eléctrica muscular (EMG), fuerza, y cinemática, en la misma base de tiempo.
- j) Etapa de comparación de métricas. Consiste en proporcionar un análisis gráfico de la información correspondiente a cada una de las métricas calculadas.