Universidad de Montemorelos

Facultad de Ingeniería y Tecnología

Desarrollo del software de terapia física "ETMASD"

"Desarrollo de un software de rastreo espacial para el análisis de datos esqueléticos en aplicaciones médicas y científicas por medio del sensor Kinect"

Autor

David Absalón Duarte Dyck

Asesores

Gerardo Romo Cárdenas

Jair Arody del Valle López

Alejandra Guillen Peralta

Lucas Callorda Fedeczko

27 de Noviembre de 2015 **Montemorelos, Nuevo León, México**

Desarrollo de un Software de Rastreo Espacial para el Análisis de Datos Esqueléticos en Aplicaciones Médicas y Científicas por Medio del Sensor Kinect

David A. Duarte y Alejandra G. Peralta
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Universidad de Montemorelos
Apartado 16-5 Montemorelos N.L. Mexico
e-mail: davemayorz94@gmail.com, aguillen@um.edu.mx

***Resumen*— Este artículo describe el proceso de desarrollo de un software de Seguimiento de Ambientes, Medición y Análisis de Datos Esqueléticos, *"ETMASD"* por sus siglas en inglés. Este programa consiste en un sistema ciber-físico, el cual permite realizar las medidas pertinentes a las articulaciones y distancias entre estas, así como el posicionamiento de un sujeto en un espacio tridimensional, con el objetivo de realizar la evaluación inicial, diagnóstico y seguimiento de patologías relacionadas con el área de Terapia Física y Rehabilitación. Dichas mediciones se calculan a partir del sistema de mapeo esquelético realizado con el Kinect en una interfaz programada mediante la herramienta de computación e integración de dispositivos MATLAB. Su aporte más significativo como herramienta médica es la captura del ángulo cérvicodiafisiario. Dicho ángulo es obtenido con la intersección entre el eje de la diáfisis del fémur y el eje del cuello femoral, cuya medida oscila entre los 125◦ y 135◦ en los adultos. El valor diagnóstico de dicho ángulo está ligado con displasias coxales; aumentado en los casos de coxa valga y disminuido en la coxa vara y su método de medición es la radiográfica estandarizada. El uso de radiografía para el diagnóstico de patologías complejas, y la dependencia en las observaciones de los evaluadores, crean un desbalance en la fiabilidad de los diagnósticos fisioterapéuticos. Este es el principal problema que busca solucionar ETMASD.**

Palabras clave - Sistemas ciber-físicos, terapia física y rehabilitación, ángulo cérvicodiafisiario, diagnóstico asistido por computadora.

Tabla de Contenido

I. INTRODUCCIÓN 2
A. ANTECEDENTES 2
B. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 3
C. JUSTIFICACIÓN 3
D. OBJETIVOS 3
E. HIPÓTESIS 3
II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS 3
A. MARCO TEÓRICO 3
B. ESTADO DEL ARTE 4
III. RESULTADOS 5
A. METODOLOGÍA 5
B. RESULTADOS 8
C. DISCUSIÓN 11
IV. CONCLUSIONES 11

I. INTRODUCCIÓN

A. Antecedentes

Para el diagnóstico en lesiones o malformaciones estructurales, el examen clínico es fundamental, sin embargo, hoy en día el uso de herramientas tecnológicas para llegar a dicho diagnóstico hace este más sólido e integral para el paciente.

Dentro del área médica dichas herramientas para diagnósticos son el uso de la radiología e imagenología; estos pueden proporcionar una imagen visual de cualquier cambio fuera de lo común de toda la estructura, así como la localización de la posición de los huesos.

Por otra parte el uso de la tecnología en estas áreas ha estado presente, un ejemplo de este es el diagnostico asistido por computadora (DAC) el cual se ha convertido en uno de los principales temas de investigación en imagen médica y radiología diagnóstica [1].

En la Terapia Física y Rehabilitación la mayoría de las evaluaciones de desempeño son hechas por el clínico a revisión directa, los diagnósticos son llevados a cabo por el uso de técnicas radiológicas o técnicas como por ejemplo el uso del simetógrafo de pared el cual da como resultado la evaluación postural, la cual es la medición general o de ángulos, así como comparación de diferentes áreas de la silueta corporal sobre un fondo cuadriculado.

Sin embargo, estas técnicas han estado presentes desde hace tiempo, el resultado que orienta a un posible diagnostico va ligado a la experiencia del evaluador el cual depende de muchos factores; si bien permiten conocer al clínico si existe algún problema, no presenta la posibilidad de determinar la intensidad del problema o conocer con precisión el área más afectada.

La realización de *"ETMASD"*, se basa en un sistema ciber-físico que permitirá el acercamiento entre las disciplinas de la informática y la práctica clínica de la medicina física y de rehabilitación, además de, eventualmente, poner a disposición del clínico herramientas

competentes de diagnóstico y seguimiento en el proceso específico de rehabilitación articular.

El desarrollo de ETMASD permite la posibilidad de estimar el ACD (ángulo cérvicodiafisiario) mediante el uso de geometría analítica, a partir de ángulos claves trazados durante el mapeo del esqueleto.

B. Definición del problema

En la actualidad se ha observado y aprobado el uso de métodos o herramientas de diagnóstico como ayuda, punto de partida o consolidación de un posible diagnóstico patológico para el personal de salud; una de estas herramientas es el uso de la radiología e imagenología.

El uso de la radiografía en el área de rehabilitación y terapia física es una herramienta que ha sido utilizada por más de 30 años como método de diagnóstico; un ejemplo son las patologías con referencia a la estructura de la cadera o deformidades en la estructura del fémur el cual está íntimamente ligado con el ángulo cérvicodiafisiario, la obtención de sus respectivos ángulos proveen información para determinar deformaciones de la cadera (displasias coxales), como son la coxa valga o la coxa vara [1]. Estas deformaciones de la cadera, aumentan la presión de carga, lo cual favorece la aparición de signos de desgastes. Por ejemplo, la carga sobre una articulación en coxa valga al andar es entre 10 y 20 veces mayor de lo normal, con mayor probabilidad a desarrollar una artrosis coxofemoral a los 20 o 30 años.

Todos estos parámetros si son llevados a cabo de manera correcta darán como resultado un diagnóstico confiable y certero. Sin embargo, en el área de terapia física y rehabilitación puede llegarse a presentar cierto margen de error, ya que dicho diagnóstico va relacionado al conocimiento y experiencia del terapeuta.

El despunte tecnológico en el área de la salud ha mostrado que el diagnóstico asistido por computadoras (DAC) resulta ser una alternativa de desarrollo de herramientas de diagnóstico que promete ser más certero y confiable para el terapeuta, y como consecuencia provee de una atención de mejor calidad para el paciente

ETMASD es una plataforma multipropósito de seguimiento y análisis de un sujeto en un espacio tridimensional. Su enfoque como herramienta es la medición no intrusiva mediante el uso del sensor Kinect, así como también ser una herramienta de diagnóstico de impacto económico para ciertas áreas de la población.

C. Justificación

En el área de terapia física se han reportado varios avances en el área de desarrollos tecnológicos, la mayoría de estos van dirigidos hacia la invención de sistemas de ejercicios para promover alguna terapia en específico [2]. Sin embargo, en el área de diagnóstico, las técnicas se han mantenido similares desde hace varias décadas; donde los dispositivos utilizados siguen basándose en reglas y aditamentos de escritura para permitir al terapeuta hacer una medición anatómica que lo lleve a una conclusión de diagnóstico [3]. Estas técnicas han estado presentes desde hace tiempo, el resultado que orienta a un posible diagnóstico va ligado a la experiencia del evaluador el cual depende de muchos factores; si bien permiten conocer al clínico si existe algún problema, no presenta la posibilidad de determinar la intensidad del problema o conocer con precisión el área más afectada.

D. Objetivos

Objetivo general: Se propone desarrollar un software que permita analizar los datos adquiridos a través de la interface con el sensor Kinect para hacer mediciones espaciales y corporales a fin de generar un sistema que permita realizar medidas anatómicas y estimar datos esqueléticos de tal forma que se pueda utilizar esto como una herramienta complementaria para el diagnóstico de patologías asociadas a la postura, lesiones y distribución anatómica humana.

Objetivos específicos:

a. Investigar cuales son las principales técnicas de evaluación pertinentes al área de la terapia física y rehabilitación, así como en qué consisten.

b. Desarrollar un software que permita analizar los datos adquiridos a través de la interface con el sensor Kinect para hacer mediciones espaciales y corporales.

c. Generar un sistema que permita realizar medidas anatómicas y estimar datos esqueléticos.

E. Hipótesis

Los algoritmos implementados en ETMASD permitirán una innovación con respecto a los métodos tradicionales de medición, ya que se espera reduzcan el costo y tiempo necesarios para llevar a cabo un diagnóstico.

II. Fundamentos Teóricos

A. Marco Teórico

Se vive en un mundo en constante desarrollo tecnológico, prueba de lo cual es la explosión que ha tenido el uso de la computación en diferentes disciplinas durante las últimas dos décadas.

Las ciencias computacionales han dado como resultado el uso de una misma plataforma para la interacción de los seres humanos con la obtención, interpretación y almacenamiento de información, utilizando distintos dispositivos para llevar a cabo cada una de estas etapas, que expanden las posibilidades de los sistemas predeterminados y convierten a la computación en un enorme sistema capaz de expandirse y actualizarse de acuerdo a las necesidades de sus usuarios [4].

En el ámbito de la medicina, la asistencia computarizada está dando grandes frutos, permitiendo agilizar procesos que antes eran muy tediosos y tardados, así como perfeccionar las técnicas y otorgar a quienes utilicen estas herramientas la posibilidad de resolver problemas que nunca antes se habrían podido plantear [5].

La segunda década del siglo XXI ha sido caracterizada por un marcado aumento en la utilización de la tecnología en

la gran mayoría de los aspectos de la vida del ser humano [6]. Las ciencias de la salud no son la excepción y se han beneficiado de avances significativos en el área de la biomedicina [7].

No obstante la práctica clínica, repositorio de la mayoría de los beneficios obtenidos en los descubrimientos asociados a tecnología, sigue una tendencia de tradicionalismo en procedimientos empíricos practicados por mucho tiempo [8]. En el tema de la Medicina de Rehabilitación, la mayoría de las evaluaciones de desempeño articular son hechas por el clínico a revisión directa [9]. Esto supone una discrepancia en la práctica clínica directa y las herramientas disponibles desde el campo de la tecnología para llevar a cabo estos procedimientos de una manera estandarizada. Ésta situación se podría deber a la falta de vinculación que facilite el trabajo colaborativo, permitiendo el aporte de otras áreas de conocimiento en el haber clínico. La realización de éste proyecto se basa en un sistema ciber-físico que permitirá el acercamiento entre las disciplinas de la biomedicina y la práctica clínica de la medicina de rehabilitación, además de, eventualmente, poner a disposición del clínico herramientas de diagnóstico y seguimiento en el proceso específico de rehabilitación articular.

B. Estado del arte

En 1986, la Organización Mundial de la Salud (OMS), define a la fisioterapia como el arte y la ciencia del tratamiento por medio del ejercicio terapéutico; además incluye la ejecución de pruebas eléctricas y manuales para determinar las capacidades funcionales, la amplitud de movimiento articular y medidas de la capacidad vital, así como ayudas diagnósticas para el control de la evolución [10].

La terapia física, como método de recuperación, es una parte fundamental del proceso de rehabilitación después de una lesión grave. Si bien los detalles de la rehabilitación dependerán de los objetivos individuales, los fisioterapeutas han puesto vital atención en este proceso. El área de la rehabilitación a su vez sirve para ayudar a los pacientes a mejorar su estado de salud, incrementando su condición física tanto como sea posible después de una enfermedad o lesión [11].

El especialista de terapia física y de medicina de rehabilitación, fundamenta sus actividades asistenciales en evaluaciones de desempeño articular por medio de la revisión visual directa, procurando una utilización racional y precisa de los recursos diagnósticos.

Sin embargo, la utilización de herramientas de diagnóstico ha seguido una tendencia tradicionalista en procedimientos empíricos practicados por mucho tiempo.

Por ejemplo el análisis de la postura en bipedestación busca identificar asimetrías estructurales, para lo que se emplea un posturómetro, instrumento con una tabla vertical con un fondo cuadriculado apoyado sobre la pared, y una plomada que cuelga de una barra horizontal, que cae directamente por delante de la línea vertical media del fondo cuadriculado , a una distancia que permita ubicar al individuo que se evalúa entre la tabla vertical y la cuerda de plomada, midiendo la inclinación de la cabeza la asimetría de los hombros y la simetría de las caderas definiendo un patrón de postura el cual una vez determinada, se pasa a realizar un programa para corregir anormalidades posturales [12].

Dentro de los exámenes subjetivos se encuentra el test de plomada, descrito por Kendall, que es una de las herramientas más usadas para evaluar la alineación del sujeto tomando como referencia específicas regiones anatómicas; en este test se realiza una evaluación de observación de las condiciones morfológicas del sujeto en tres planos: anterior, lateral derecho e izquierdo. El paciente debe encontrarse en ropa interior y posición natural estática (pies ligeramente separadas, brazos relajados a los costados del cuerpo con las palmas de las manos hacia la línea media) al lado de una plomada suspendida de una cuerda. El examinador debe situarse a una distancia de 1.50 a 2 metros del paciente con el fin de tener una perspectiva correcta al momento de evaluar. Las desviaciones que el examinador encuentre respecto a la línea de plomada se definirán como leves, moderadas o graves, pudiendo utilizar como unidad métrica los grados o centímetros [13].

El diagnóstico de patologías de la estructura de la cadera o deformidades en la estructura del fémur están íntimamente asociadas al ángulo cérvicodiafisiario, el cual es la diáfisis del fémur que se encuentra en ligero ángulo hacia afuera contra la línea de carga y junto con el cuello del fémur, el cual es de 150° en el lactante y en el adulto de 125° en el plano frontal, mientras que en el anciano este ángulo puede ser mucho menor que 125°. Por medio de esta estructura en ángulo se pueden alcanzar las condiciones de palanca adecuadas para la musculatura de la cadera que allí se inserta. Existen distintos tipos de deformaciones de la cadera (displasias coxales), como son la coxa valga (deformación que produce rotación externa de la extremidad, con más de 125°) o la coxa vara (curvatura hacia abajo del cuello del fémur, con un ángulo menor de 125°), se deben a transformaciones del ángulo de la diáfisis y el cuello del fémur, un hecho que produce un aumento de la carga sobre la articulación de la cadera [14].

Recientemente se empezó a explorar la posibilidad de agregar tecnología a los procesos de diagnóstico en el área de terapia física y rehabilitación, sin embargo, no han llegado a implementarse completamente dentro de la práctica clínica.

Los sistemas ciber-físicos (CPS) integran las capacidades informáticas y de la comunicación por el seguimiento y control de los sistemas físicos a través de hardware y sistemas embebidos [15][16]. Estos consideran métodos y tecnologías cuyos alcances, tienen aplicaciones en áreas médicas y biológicas [17].

Un caso particular de la aplicación de estos sistemas se refiere al campo de la rehabilitación física, donde haciendo uso de las capacidades de detección de espacios y cuerpos en 3 dimensiones del sensor Kinect de Microsoft, se han desarrollado múltiples esfuerzos en esa dirección.

El sensor Kinect ha abierto el camino para el desarrollo de numerosas aplicaciones en diferentes áreas. Aplicaciones médicas y de salud se están beneficiando, ya que permite de manera no invasiva la captura de movimientos corporales

que se pueden utilizar en el diagnóstico y rehabilitación motora de pacientes en esta área [3].

III. Resultados

A. Metodología

ETMASD es una plataforma multipropósito de seguimiento y análisis de un sujeto en un espacio tridimensional. Su enfoque como herramienta es la medición no intrusiva mediante el uso del sensor Kinect. Debido a la naturaleza del programa, y las facilidades que MATLAB otorga como plataforma de desarrollo, su uso puede ser de interés para diversas disciplinas de estudio, que pueden variar desde el desarrollo de aplicaciones interactivas didácticas, hasta la realización completa de una evaluación física. Siendo este último uso el foco inicial de este trabajo.

ETMASD utiliza el Kinect como dispositivo de entrada debido al bajo costo y fácil acceso que se tiene a estos sensores, sin comprometer la funcionalidad de los mismos. En México, tiene un costo de $1,799.99 y puede adquirirse en cualquier distribuidora de videojuegos; mientras que otros dispositivos de análisis postural requieren contactar a un único distribuidor autorizado y sus precios pueden estar entre los $40,776.89 y $217,476.74 [18].

Además, dado a su bajo margen de error despreciable, así como la naturaleza controlada del medio en que las evaluaciones se llevan a cabo, lo capacitan para ser utilizado como una alternativa lo suficientemente precisa [6].

La practicidad que el uso de esta herramienta provee a los evaluadores reduce considerablemente el tiempo necesario para llevar a cabo cada intervención, ya que pueden realizarse de manera simultánea múltiples evaluaciones y los resultados de las mismas se presentan de forma ordenada e instantánea. Una evaluación promedio de ETMASD tiene una duración de 30 segundos, mientras que pruebas realizadas mediante los métodos tradicionales pueden tomar alrededor de 7 minutos con 40 segundos, en el caso de pruebas asistidas por sensores [19].

Kinect realiza tres labores fundamentales para el funcionamiento de ETMASD: el mapeado del entorno donde se lleva a cabo la evaluación, el posicionamiento del sujeto en este ambiente, y el mapeado de las articulaciones del sujeto para la construcción de un esqueleto. Para ello, hace uso de un emisor de rayos infrarrojos y un sensor, el cual determina a qué distancia se encuentra cada uno de estos rayos, dicha nube de puntos es recibida por el sistema para generar un mapa del entorno a evaluar.

Cuando un objeto se encuentra dentro del rango de visión del Kinect los rayos rebotan con éste, permitiendo así conocer su posición exacta. La imagen capturada y el mapa de puntos pasan entonces a una red neuronal previamente entrenada para así determinar la posición del sujeto y mapear cada una de sus articulaciones.

En la Fig. 1 se presenta la estructura del Kinect utilizado para el desarrollo de ETMASD, el cual se trata de la versión para Xbox 360. Se optó por esta versión debido a la fácil obtención de la misma, sin embargo, también es compatible con la versión para Windows.

Fig. 1. Esquemático de sensores del dispositivo Kinect [20].

Una vez obtenidos los datos necesarios, es cuestión de implementar los algoritmos pertinentes a las mediciones necesarias para la evaluación física. Dichas mediciones se irán incorporando al sistema según sea pertinente. Con el objetivo final de presentar una plataforma completa de diagnóstico y seguimiento en el área de la terapia física. Las mediciones que se han incorporado al sistema son: medición del ángulo cérvicodiafisiario (ACD), desviación de postura frontal, y desviación de postura lateral.

La medición del ACD es relevante dado a que el dolor de cadera es un problema frecuente tanto en adultos como en jóvenes, resultando sumamente útil el diagnóstico de patologías en estos últimos, ya que a diferencia de los adultos, suele asociarse a deformidades en la estructura del fémur, las cuales son difíciles de detectar [21]. Debido a la complejidad de la estructura del mismo y a la gran cantidad de factores involucrados, los métodos de diagnóstico tradicionales varían. Siendo demasiado simples y dependiendo de las observaciones del evaluador. Por otro lado, también pueden ser demasiados complicados, requiriendo de equipo de rayos X, resonancia magnética o tomografías computarizadas; métodos que son además demasiado prolongados y costosos [21].

ETMASD brinda la posibilidad de estimar el ACD mediante el uso de geometría analítica, a partir de ángulos clave trazados durante el mapeo del esqueleto. Utilizando, además, valores presentes en la literatura consultada.

Como se aprecia en la Fig. 2, una vez obtenido el esqueleto del paciente, en primer lugar, se denomina el ángulo a buscar como **θ (ACD)**, tras lo cual se traza un ángulo entre los puntos medio, izquierdo y derecho de la cadera; el cual se denomina α. La medida de este último es obtenida directamente del mapeado esquelético realizado por ETMASD.

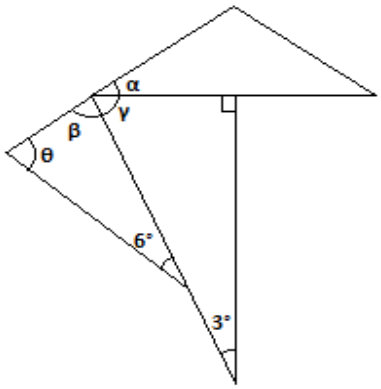


Fig. 2. Diagrama del algoritmo.

Debido a que conocemos el ángulo de inclinación del punto izquierdo de la cadera con respecto a la plomada (3°) y que el de la plomada es un ángulo recto (90°), podemos deducir que la medida del ángulo **γ** es de 87°. Por lo tanto, a su vez se puede deducir que:

$$\boldsymbol{\beta} = 180° - (\alpha + 87°).$$

Además, conocemos el ángulo de inclinación del cuello del fémur con respecto a la rodilla, el cual, como podemos ver en la Fig. 3, se denomina ángulo Q y tiene una medida estándar de 6°. Por lo que podemos deducir de igual forma que:

$$\boldsymbol{\theta} = 180° - (\beta + 6°).$$

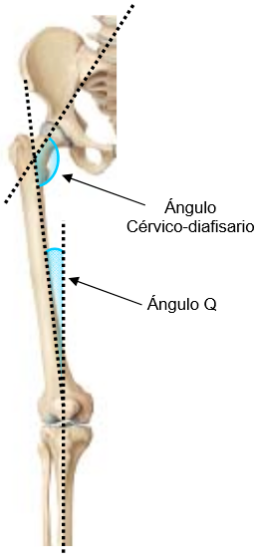


Fig. 3. Anatomía de pierna humana.

Al sustituir β en la ecuación anterior obtenemos que:

$$\theta = 180° - (180° - (\alpha + 87°) + 6°).$$

Finalmente, resolvemos la ecuación paso a paso hasta obtener el resultado que deseamos:

$$\theta = 180° - (180° - \alpha - 87° + 6°)$$

$$\theta = 180° - (99° - \alpha)$$

$$\theta = 81° + \alpha.$$

De esta manera se obtuvo un algoritmo simplificado que nos permite estimar la medida del ACD a partir de los datos esqueléticos. Dependiendo del intervalo al que corresponda la medida del ángulo obtenido, se clasifica al paciente de acuerdo con la patología correspondiente, las cuales aparecen en la Fig. 4.

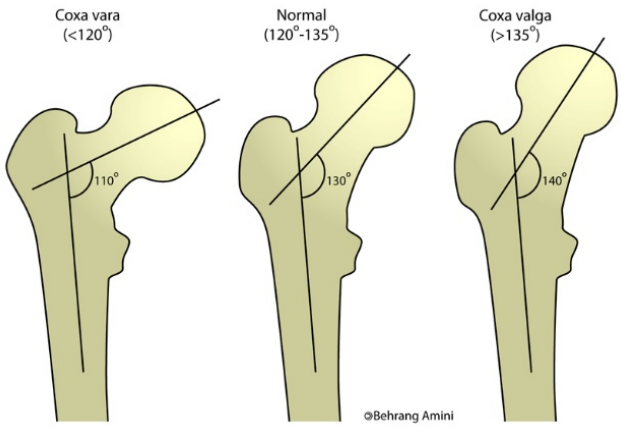


Fig. 4. Patologías asociadas con el ACD [22].

Otro de los principales métodos de diagnóstico de patologías físicas es el análisis del control postural. Para el cual existen diferentes métodos de análisis, los cuales dependen de examinaciones visuales que al depender de muchos factores, si bien permiten conocer al clínico si existe algún problema, no presentan la posibilidad de determinar la intensidad del problema o conocer con precisión el área más afectada [23]. Sin embargo, Kinect provee la posibilidad de realizar evaluaciones mucho más precisas por periodos prolongados de tiempo, y analizando el movimiento del paciente. Y si bien presenta algunas limitaciones, es una herramienta con resultados semejantes a los provistos por sistemas de análisis de movimiento tridimensional similares [23].

ETMASD realiza pruebas de desviación postural frontal mediante la comparación en la altura de las articulaciones más importantes, mostrando la magnitud de la desviación y la dirección de la misma. Para realizar las pruebas de desviación postural frontal, en primer lugar, se seleccionan del arreglo obtenido durante el mapeo del esqueleto los puntos correspondientes a las articulaciones de los hombros izquierdo y derecho, así como de las caderas y rodillas, como se muestra en la Fig. 5.

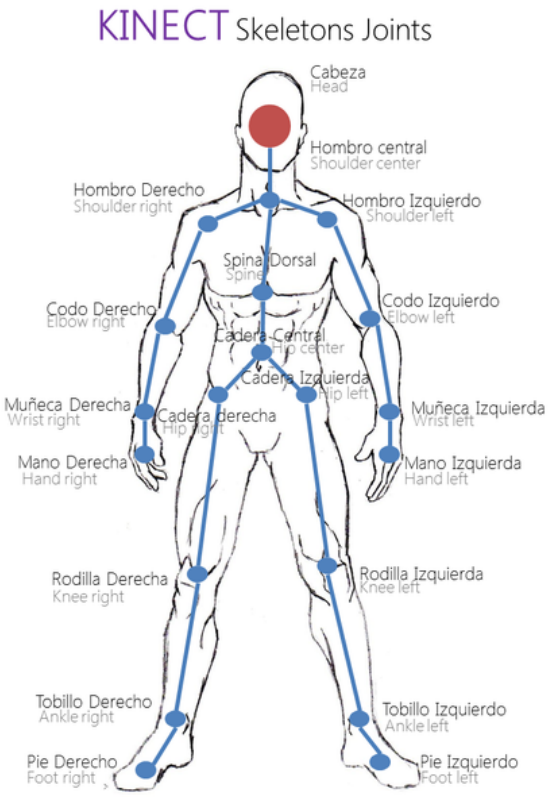


Fig. 5. Esquema de articulaciones obtenidas por Kinect [24].

Cada uno de estos puntos presenta coordenadas en un plano tridimensional (x, y, z), y ya que para la desviación frontal únicamente necesitamos comparar sus alturas, solo utilizaremos los componentes y de cada matriz.

Hombro Derecho = HDy
Hombro Izquierdo = HIy
Cadera Derecha = CDy
Cadera Izquierda = CIy
Rodilla Derecha = RDy
Rodilla Izquierda = RIy

La desviación de cada segmento puede calcularse entonces de manera muy sencilla, simplemente restando entre sí los valores correspondientes a los puntos homólogos.

Desviación Frontal de Hombros = HDy - HIy
Desviación Frontal de Caderas = CDy - CIy
Desviación Frontal de Rodillas = RDy - RIy

La magnitud de cada uno de estos valores determina qué tan fuera de línea se encuentran ambos lados del cuerpo entre sí, y su signo la dirección hacia la que se presenta la inclinación, siendo positivo si se trata de una inclinación hacia la derecha, y negativo si es hacia la izquierda. Las alineaciones evaluadas se presentan de manera más clara en la Fig. 6.

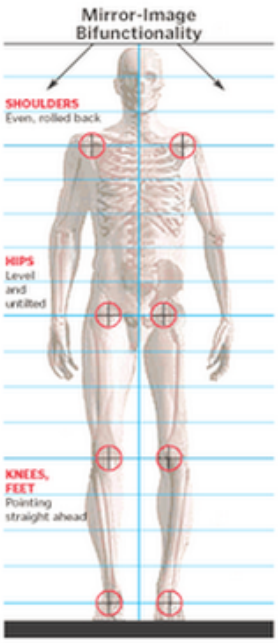


Fig. 6. Diagrama de la postura frontal evaluada [25].

Las pruebas de desviación postural lateral funcionan de manera similar. En este caso, se traza una línea vertical recta de referencia y se determina la posición con respecto a ella. Y de igual manera que en el caso anterior se muestran la magnitud y dirección de cada desviación. Esta prueba requiere de los puntos correspondientes al hombro, cadera, rodilla y tobillo derechos, como se observa en la Fig. 7.

Fig. 7. Diagrama de la postura lateral evaluada [25].

Para determinar la desviación lateral es necesario comparar las posiciones en el eje horizontal (x) con respecto a un punto de referencia, por lo tanto, las variables a utilizar corresponden a los componentes x de las matrices antes mencionadas.

Hombro = Hx
Cadera = Cx
Rodilla = Rx
Tobillo = Tx

El tobillo es tomado como punto de referencia, ya que su componente horizontal es equivalente a la posición de la línea de la plomada, por lo que para calcular la desviación de cada punto es necesario sustraer al valor de Tx, el valor correspondiente a cada uno de ellos.

Desviación Lateral de Hombros = Tx - Hx
Desviación Lateral de Caderas = Tx - Cx
Desviación Lateral de Rodillas = Tx – Rx

En este caso, la magnitud de cada uno de los valores anteriores representa la posición del punto con respecto a la línea de la plomada, tratándose de un valor positivo cuando el punto se localiza más hacia la derecha, representando a su vez una inclinación hacia adelante; o negativo cuando se localiza más hacia la izquierda, lo cual representa una inclinación hacia atrás.

B. Resultados

El uso de Kinect y MATLAB permiten a ETMASD ser una herramienta bastante flexible, habiendo alcanzado resultados muy prometedores en un periodo de tiempo aceptable. Esto hace de ETMASD una herramienta fácilmente actualizable, algo sumamente útil incluso después de completarse su desarrollo.

Además de las metodologías necesarias para la evaluación es importante que el uso del programa sea simple de entender, por lo que el diseño de la interfaz debe mostrar al usuario todo lo que puede hacer y que este pueda interpretar la información correctamente. Estos han sido los principios a tomar en cuenta, y que pueden observarse en la interfaz gráfica actual de ETMASD, tal como se muestra en la Fig. 8.

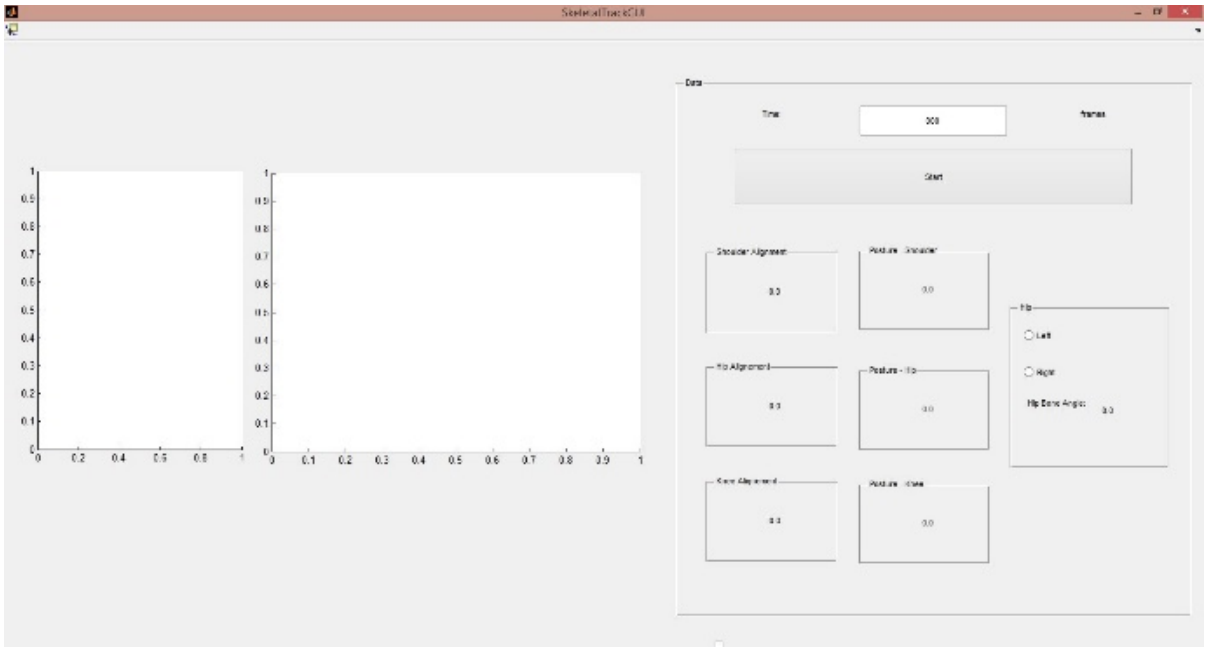


Fig. 8. Interfaz gráfica de ETMASD (antes de utilizarse).

Al realizar una evaluación, se muestra el video capturado por el Kinect, así como el mapeado esquelético del usuario en tiempo real, para asegurarse de que la evaluación se está llevando a cabo de manera correcta, como se aprecia en la Fig. 9.

Fig. 9. Captura de video con datos esqueléticos en ETMASD.

Al terminar la captura de datos, toda la información relevante obtenida se presenta de manera ordenada, junto a la imagen de la última captura de video, para su futuro análisis. Esta información corresponde a las evaluaciones físicas antes mencionadas y aparece en la pantalla que se muestra en la Fig. 10. En la columna izquierda aparecen los valores de desviación postural frontal correspondientes a los hombros, caderas y rodillas; en la columna central los de desviación postural lateral en el mismo orden, y en el recuadro de la derecha el valor del ACD obtenido de la cadera seleccionada. Los valores correspondientes a la postura se expresan tienen como unidad de medición los metros, mientras que el ángulo se mide en grados.

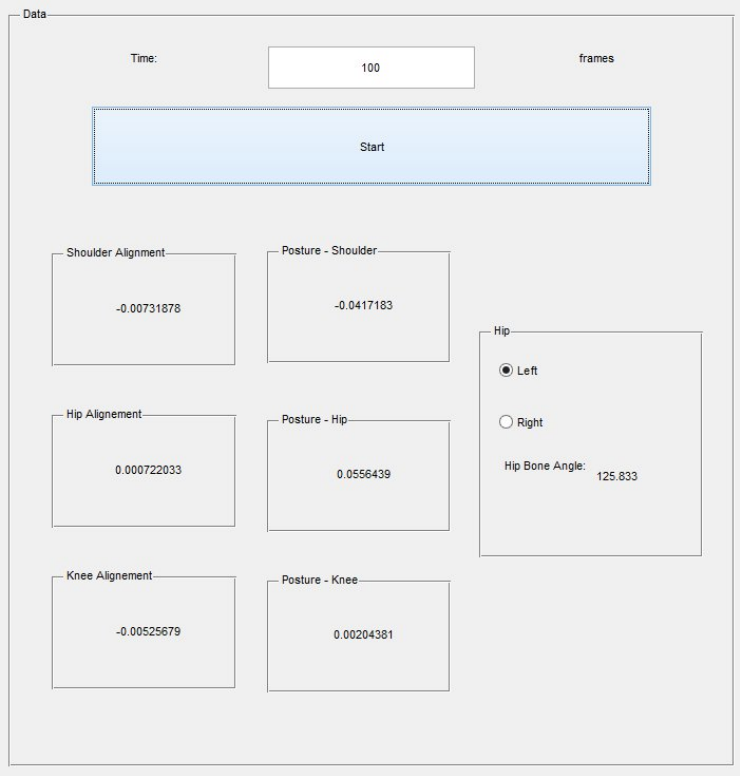
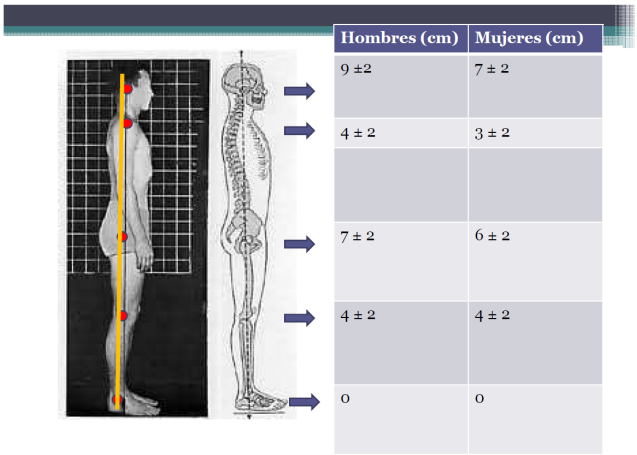


Fig. 10. Menú de captura de datos de ETMASD.

Las desviaciones en postura frontal solo se consideran relevantes si sobrepasan 1 cm de longitud, y depende del comportamiento de estas en conjunto con las demás evaluaciones el determinar a qué patología corresponden. Por su parte las desviaciones en postura lateral, al tener un comportamiento más definido es posible determinar si se encuentran dentro del margen adecuado, el cual se presenta en la Fig. 11.



Hombres (cm)	Mujeres (cm)
9 ±2	7 ± 2
4 ± 2	3 ± 2
7 ± 2	6 ± 2
4 ± 2	4 ± 2
0	0

Fig. 11. Medidas normales obtenidas del plano sagital (postura lateral) [26].

Como complemento del resultado de la medición del ACD se incorpora además la gráfica de cajas que se muestra en la Fig. 12, la permite conocer la variabilidad en la obtención de dicho resultado, así como si se obtuvo de la manera correcta.

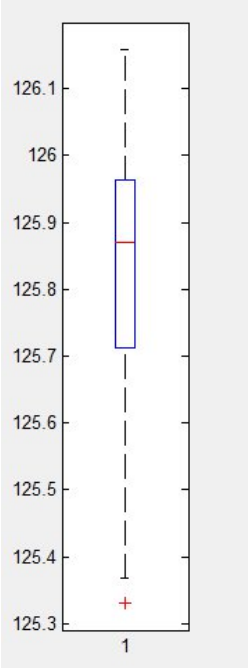


Fig. 12. Gráfica de cajas del ACD obtenido (grados).

Como puede apreciarse en la Fig. 13, el conjunto de estos elementos es el resultado final de cada evaluación. A partir de su correcta interpretación y el análisis de la información presentada, se pueden realizar los diagnósticos necesarios. Además, esta información puede almacenarse en medios que así lo requieran, con el objetivo de dar seguimiento al paciente y conocer la influencia de la intervención terapéutica en el mismo.

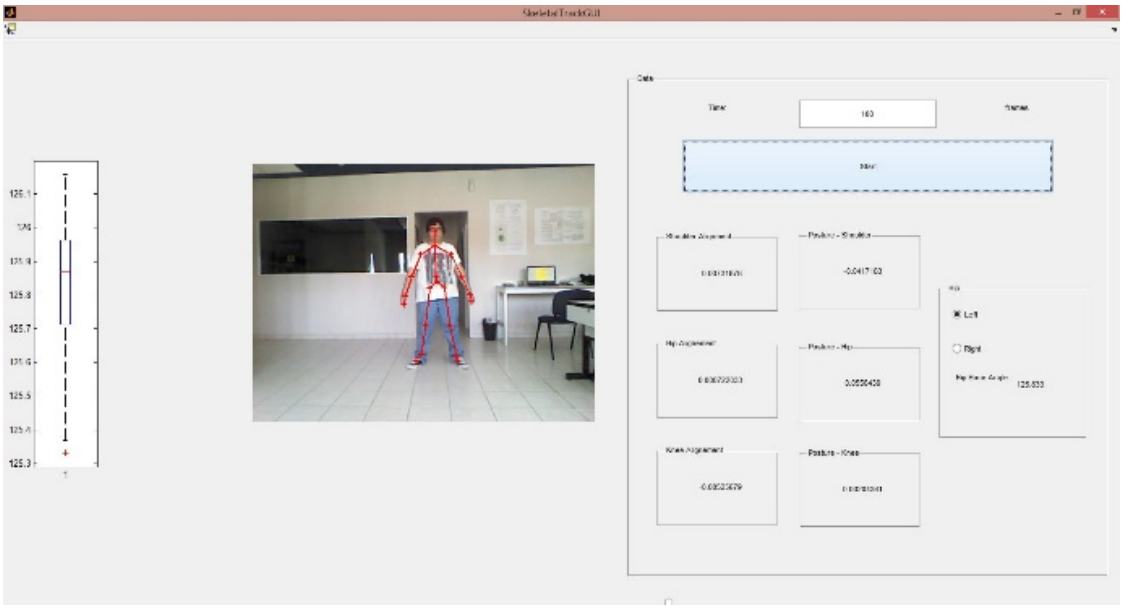


Fig. 13. Interfaz gráfica de ETMASD (tras realizar una captura).

C. Discusión

Los resultados presentados son considerados como un avance significativo en el desarrollo de esta herramienta de diagnóstico basado en sistemas de posicionadores tridimensionales, dado que se han implementado de manera exitosa las mediciones correspondientes con lo encontrado en la literatura respecto a la anatomía del cuello del fémur y el análisis de la postura.

Sin embargo, es necesario generar e implementar un protocolo que permita realizar una validación más específica de este algoritmo, comparando de manera directa las evaluaciones realizadas por ETMASD con las alternativas presentadas en este trabajo. Una vez confirmado esto, podrán analizarse las posibles aplicaciones en el área de terapia física y rehabilitación.

IV. Conclusiones

La realización de este proyecto muestra la viabilidad de desarrollar sistemas basados en posicionadores tridimensionales que permitan analizar la postura a fin de facilitar el proceso de diagnóstico en el área de la terapia física. Es de llamar la atención, que este desarrollo, remplazaría un procedimiento que normalmente se diagnostica por medio de una radiografía, lo cual se entiende como un procedimiento menos invasivo para la realización de esta tarea.

Es factible concebir la posibilidad de agregar una mayor cantidad de parámetros medibles a fin de tener más herramientas de diagnóstico, tales como el análisis de la marcha y ángulos correspondientes a las extremidades, evaluaciones que requieren de un entorno controlado para el movimiento del paciente.

Referencias Bibliográficas

[1] E. Coto, "Métodos de segmentación de Imágenes Médicas," *Univ. Cent. Venez. Fac. Ciencias, Esc. Comput. Lect. en Ciencias la Comput.*, p. 17, 2003.

[2] J. F. Airy and T. D. Kadavy, "Physical therapy and exercise apparatus for body limbs." Google Patents, Jun-1991.

[3] "Physical therapy diagnostic device." Google Patents, Aug-1972.

[4] R. M. Baecker and W. A. S. Buxton, *Readings in human-computer interaction*. Elsevier Science, 2014.

[5] H. Nicolau, T. Guerreiro, R. Pereira, D. Gonçalves, and J. Jorge, "Computer-assisted rehabilitation: towards effective evaluation," *Int. J. Cogn. Perform. Support*, vol. 1, no. 1, pp. 11–26, 2013.

[6] K. Khoshelham and S. O. Elberink, "Accuracy and resolution of kinect depth data for indoor mapping applications," *Sensors*, vol. 12, no. 2, pp. 1437–1454, 2012.

[7] M. Lock, *Biomedicine examined*, vol. 13. Springer Science & Business Media, 1988.

[8] R. Grol, "Personal paper. Beliefs and evidence in changing clinical practice.," *BMJ Br. Med. J.*, vol. 315, no. 7105, p. 418, 1997.

[9] B. A. Koenig, "The technological imperative in medical practice: The social creation of a 'routine' treatment," in *Biomedicine examined*, Springer, 1988, pp. 465–496.

[10] A. Prieto Rodríguez and S. P. Naranjo Polania, "El cuerpo, en el campo de estudio de la Fisioterapia," *Rev. la Fac. Med.*, vol. 53, no. 2, pp. 57–71, 2005.

[11] L. Vergara Bize, "Desarrollo de la Medicina Física y Rehabilitación como especialidad médica," 2010.

[12] G. A. R. Llerena, J. P. Novo, and A. H. Martínez, "Dolor lumbar bajo: Enfoque clínico-terapéutico y de la rehabilitación precoz," *Rev. Cuba. Reumatol. RCuR*, vol. 3, no. 1, pp. 65–72, 2001.

[13] B. Yáñez and M. Jimena, "Frecuencia de alteraciones posturales en estudiantes de nuevo ingreso del año 2014 en la escuela de talentos deportivos en el Estado de Querétaro." 2015.

[14] Á. Alvarez, K. J. a Anatom, and I. Anatom, "Anatom í a de la Cabeza Femoral Humana : Consideraciones en Ortopedia , Parte I . Anatom í a y Relaciones Antropom é tricas del F é mur Proximal," *Int J Morphol*, vol. 28, no. 2, pp. 427–431, 2010.

[15] R. Baheti and H. Gill, "Cyber-physical Systems," *Impact Control Technol.*, no. 1, pp. 161–166, 2011.

[16] E. a. Lee, "Cyber Physical Systems: Design Challenges," *IEEE Int. Symp. Object Component-Oriented Real-Time Distrib. Comput.*, pp. 363–369, 2008.

[17] S. C. Suh, U. J. Tanik, J. N. Carbone, and A. Eroglu, *Applied Cyber-Physical Systems*. Springer Science & Business Media, 2013.

[18] R. Olivera Oliva, "Diseño de una plataforma dinamométrica para el cálculo del centro de presiones utilizando galgas extensiométricas," 2012.

[19] J. M. Baydal-Bertomeu, R. B. I. Guillem, C. Soler-Gracia, M. F. P. De Moya, J. M. Prat, and R. B. De Guzmán, "Determinación de los patrones de comportamiento postural en población sana española," *Acta Otorrinolaringológica Española*, vol. 55, no. 6, pp. 260–269, 2004.

[20] Microsoft, "Company behind Microsoft's Kinect sensor sold to Apple for $345 million.," 2013. .

[21] P. Banerjee and C. R. Mclean, "Femoroacetabular impingement: a review of diagnosis and management," *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.*, vol. 4, no. 1, pp. 23–32, 2011.

[22] B. Amini, "FemurAngles." [Online]. Available: http://www.healthhype.com/wp-content/uploads/FemurAngles.jpg. [Accessed: 27-Jul-2014].

[23] R. A. Clark, Y. H. Pua, K. Fortin, C. Ritchie, K. E. Webster, L. Denehy, and A. L. Bryant, "Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control," *Gait Posture*, vol. 36, no. 3, pp. 372–377, 2012.

[24] H. Fernandez, "Skeletons?... el desarrollo de una interfaz verdaderamente natural..," 2012. [Online]. Available: http://goodnameblog.blogspot.mx/2012/07/skeletons-el-desarrollo-de-una-interfaz.html. [Accessed: 02-Mar-2016].

[25] T. P. Clinic, "The Posture Clinic," 2012. [Online]. Available: http://www.posture4life.net/. [Accessed: 02-Mar-2016].

[26] I. G. Núñez, "Introducción a la Kinesiología: Evaluación Postural," 2007. [Online]. Available: http://academico.upv.cl/doctos/KINE-2007/%7B25FF8CB4-A500-48CA-AF97-7D9AC1455815%7D/2012/S1/Practico 4 Evaluaci%C3%B3n Postural %5BModo de compatibilidad%5D.pdf. [Accessed: 02-Mar-2016].