

Análisis del movimiento de las extremidades superiores aplicado a la rehabilitación física de una persona usando técnicas de visión artificial

Ma. Paz Velarde, Erika Perugachi, Dennis Romero, Angel D. Sappa^{1,2}, Boris X. Vintimilla

¹CIDIS – FIEC, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Campus G. Galindo, Km 30.5 vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador

²Computer Vision Center, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Barcelona, Spain
{mvelarde, erisperu, dgromero, asappa, boris.vintimilla}@espol.edu.ec

Abstract— Commonly in a physical rehabilitation process, diagnosis given by the specialist is based on qualitative observations, suggesting in some cases, subjective conclusions. This paper proposes a quantitative approach, oriented to assist physiotherapists, through an interactive and low cost tool to measure movements of upper limbs. These movements are captured by a RGB-D sensor and processed using the proposed methodology, resulting in an efficient motion representation, allowing quantitative assessment of upper limb movements.

Keywords— Rehabilitation; RGB-D Sensor; Computer Vision; Upper limb

Resumen— Comúnmente durante la rehabilitación física, el diagnóstico dado por el especialista se basa en observaciones cualitativas que sugieren, en algunos casos, conclusiones subjetivas. El presente trabajo propone un enfoque cuantitativo, orientado a servir de ayuda a fisioterapeutas, a través de una herramienta interactiva y de bajo costo que permite medir los movimientos de miembros superiores. Estos movimientos son capturados por un sensor RGB-D y procesados mediante la metodología propuesta, dando como resultado una eficiente representación de movimientos, permitiendo la evaluación cuantitativa de movimientos de los miembros superiores.

Palabras Clave — Rehabilitación; Kinect; Visión por Computador; Extremidades superiores

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo parte del análisis de movimientos de las extremidades superiores de pacientes durante sesiones de rehabilitación física. Entre las lesiones más comunes en sesiones de fisioterapia, se encuentran los casos traumatológicos, los cuales han sido causados generalmente por accidentes, golpes, caídas, armas u otros. En la actualidad, el tratamiento de lesiones traumatológicas se lleva a cabo a través de las terapias funcionales, las cuales utilizan los

beneficios del movimiento. Estas se realizan de dos maneras: de forma pasiva, en la que los movimientos son realizados por una fuerza externa, generalmente ejercida por el fisioterapeuta, y de forma activa, en cuyo caso los movimientos son producidos por el mismo organismo mediante su aparato muscular. El presente estudio se encuentra enfocado en la rehabilitación de forma activa, durante los ejercicios de efecto palanca, con los cuales el paciente gradualmente realiza movimientos del miembro superior de una manera completa y correcta. La medición de dichos movimientos durante la fisioterapia facilitaría el proceso de rehabilitación, permitiendo la retroalimentación en-línea del movimiento realizado y una evaluación cuantitativa por parte del especialista.

En los últimos años varias investigaciones han sido dirigidas hacia el uso de tecnologías de apoyo en los procesos de rehabilitación [1] [2] [3]. Estudios que abarcan desde el uso de realidad virtual [2] hasta plataformas de video juegos [3][4][5][6][9] han dado resultados positivos para el paciente [1] [8]. En este sentido, de los avances tecnológicos orientados al área de video juegos, han surgido dispositivos de fácil acceso y que pueden ser orientados a la captura de información relacionada con los movimientos del cuerpo humano.

Por medio de un sensor RGB-D [10], características representativas de los miembros superiores de un paciente son extraídas y observadas en el tiempo para un análisis posterior. Para esto, es necesaria la aplicación de un método de medición que sea adaptable a las condiciones de captura (iluminación, presencia de objeto, oclusiones entre otros) y que también guarde relación con lo que el especialista desea medir. Este trabajo presenta los detalles de la metodología propuesta para la representación de movimientos de las extremidades superiores, basada en el seguimiento de características en el tiempo. Un sistema de software fue también desarrollado implementando los métodos descritos más adelante y busca ser una herramienta de apoyo para el médico al permitirle disponer

rápida de información relacionada con el proceso de rehabilitación de un paciente durante ejercicios de fisioterapia. En la actualidad la manera de medir el alcance de los movimientos se realiza mediante un goniómetro, instrumento capaz de medir el ángulo de movilidad articular.

Este artículo se encuentra organizado de la siguiente forma: en la sección II se define el sistema de adquisición utilizado, el modelo biomecánico del miembro superior planteado y la metodología de medición del movimiento. En la sección III se detallan los resultados experimentales, seguidos de las conclusiones y ventajas del sistema obtenido, los cuales se detallan en la sección IV.

II. METODOLOGÍA

A. Sistema de Adquisición

En el mercado existen varios sensores de captura de movimientos que han sido orientados a consolas de video juegos [12] y que han demostrado ser adecuadas para otros enfoques de aplicación [5][6][9]. Para obtener las características que definen a las extremidades superiores del cuerpo de la persona, se utilizará un sensor RGB-D, específicamente dispositivo periférico Kinect desarrollado por Microsoft, el cual se encuentra ampliamente disponible en el mercado por su precisión y bajo costo, siendo idóneo para esta investigación [11]. Por medio del SDK (Kit de Desarrollo de Software) provisto por el fabricante, fue posible la captura de puntos característicos de las articulaciones y del esqueleto humano en tres dimensiones. La Fig. 1 muestra los puntos característicos que el dispositivo es capaz de detectar.

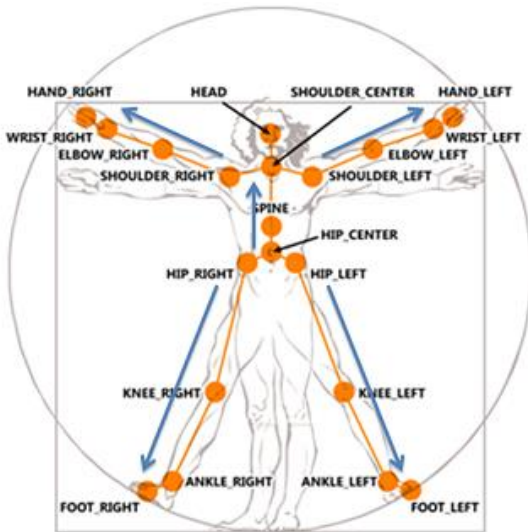


Fig. 1. Puntos característicos de las articulaciones y del esqueleto humano detectados con el sensor.

B. Modelo Biomecánico

Varios estudios plantean un modelo biomecánico del miembro superior [13][15]. En este estudio se plantea un modelo que adapta los puntos característicos obtenidos mediante el sensor RGB-D en función de la obtención de segmentos del cuerpo, como muestra la Fig. 2.



Fig. 2. Modelo biomecánico de la extremidad superior.

Una articulación es el punto o zona de unión de dos componentes del esqueleto. Las articulaciones que se incluyen en este estudio son: articulación esterno-clavicular, representada por el punto “2” y que tiene dos grados de libertad; las articulaciones acromio-clavicular y gleno-humeral, definidas por el punto “3” y que tienen tres grados de libertad; el codo y la muñeca representados por “4” y “5” respectivamente, que tienen dos grados de libertad.

C. Metodología de Medición del Movimiento

Al obtener los puntos de las articulaciones que conforman el modelo biomecánico de la extremidad superior, la magnitud de los segmentos es calculada mediante la distancia que existe entre las articulaciones que los conforman [13]. La Tabla 1 muestra cada uno de los segmentos obtenidos y sus respectivas articulaciones asociadas. Los puntos característicos de las articulaciones y del esqueleto son posteriormente utilizados para medir el movimiento del miembro superior.

TABLA I. DEFINICIÓN DE LOS SEGMENTOS DE LA EXTREMIDAD SUPERIOR

Segmento	Definición
Clavícula	Desde el punto “2” hasta el punto “3”.
Húmero	Desde el punto “3” hasta el

Segmento	Definición
	punto "4".
Antebrazo	Desde el punto "4" hasta el punto "5".
Mano	Desde el punto "5" hasta el punto "6".

Existen varios estudios que definen los movimientos de las extremidades superiores [7], una propuesta que incluye un estudio del movimiento tridimensional [14] es adaptado y aplicado a esta investigación, donde se detallan siete movimientos agrupados por su segmento.

Movimientos de la clavícula: Se define un sistema de coordenadas (T1, T2, T3), las cuales ayudan a determinar los planos que se describen. T3 se obtiene desde el punto "2" hasta el punto "1", y T1 y T2 son vectores perpendiculares a T3.

1) *Elevación de clavícula:* Este movimiento corresponde al segmento "clavícula". Para evaluar la elevación de clavícula se medirá el ángulo θ_1 formado entre el vector C1 (punto "3" menos punto "2") y el plano formado por los vectores T1 y T2, tal como se muestra en la Fig. 3.

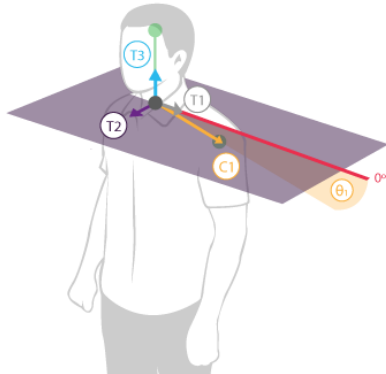


Fig. 3. Ángulo θ_1 formado por elevación de clavícula.

2) *Inclinación de clavícula:* Este movimiento corresponde al segmento "clavícula". Para evaluar la inclinación de la clavícula se medirá el ángulo θ_2 formado entre el vector C1 y el plano formado por los vectores T1 y T3, tal como se muestra en la Fig. 4.

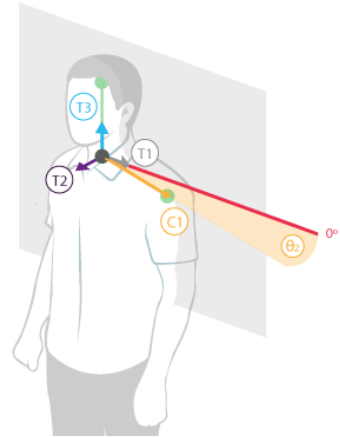


Fig. 4. Ángulo θ_2 formado por inclinación de clavícula.

Movimientos del húmero: Se describen tres movimientos para este segmento, debido a que la articulación anterior tiene tres grados de libertad.

3) *Flexión y extensión de hombro:* Este movimiento corresponde al segmento "húmero". Para evaluar la flexión y extensión del hombro se medirá el ángulo θ_3 formado entre el vector H1 (punto "4" menos punto "3") y el plano formado por los vectores T1 y T2, tal como se muestra en la Fig. 5.

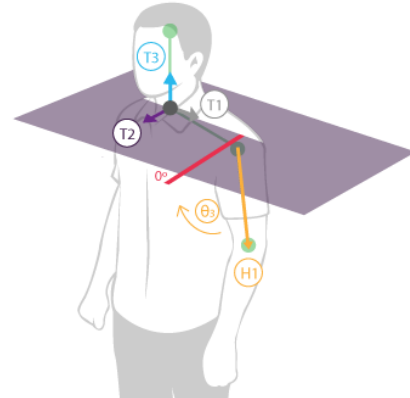


Fig. 5. Ángulo θ_3 formado por flexión-extensión de hombro.

4) *Abducción y aducción lateral del hombro:* Este movimiento corresponde al segmento "húmero". Para evaluar la abducción y aducción lateral del hombro se medirá el ángulo θ_4 formado entre el vector H1 y el plano formado por los vectores T2 y T3, tal como se muestra en la Fig. 6.

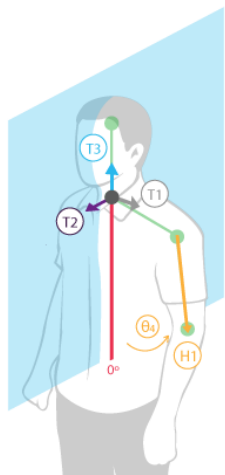


Fig. 6. Ángulo θ_4 formado por abducción y aducción lateral del hombro.

5) *Abducción y aducción horizontal del hombro:* Este movimiento corresponde al segmento “húmero”. Para evaluar la abducción y aducción horizontal del hombro se medirá el ángulo θ_5 formado entre el vector H1 y el plano formado por los vectores T1 y T3, tal como se muestra en la Fig. 7.

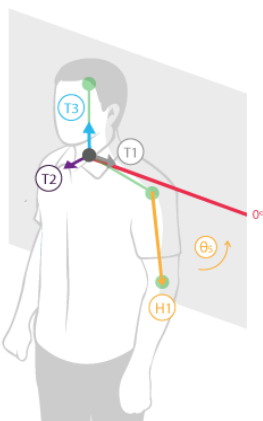


Fig. 7. Ángulo θ_5 formado por abducción y aducción horizontal del hombro.

6) *Flexión y extensión del codo:* Este movimiento corresponde al segmento “brazo”. Para evaluar la flexión y extensión del codo se medirá el ángulo θ_6 formado entre los vectores H1 y F1 (punto “5” menos punto “4”), tal como se muestra en la Fig. 8.

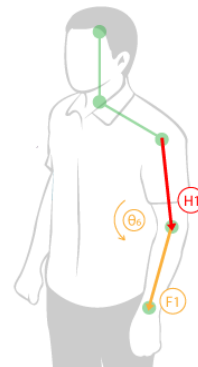


Fig. 8. Ángulo θ_6 formado por flexión y extensión del codo.

7) *Amplitud del movimiento de la muñeca:* Este movimiento corresponde al segmento “mano”. Para evaluar la amplitud del movimiento de la muñeca se medirá el ángulo θ_7 formado entre los vectores F1 y M1 (punto “6” menos punto “5”), tal como se muestra en la Fig. 9.



Fig. 9. Ángulo θ_7 formado por amplitud del movimiento de la muñeca.

III. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se analizó a un paciente micro tenista con cervicalgia, padecimiento que limita el movimiento del miembro superior izquierdo del paciente. El paciente fue sometido a un proceso de rehabilitación que incluyó varias sesiones en diferentes días.

El primer resultado muestra los movimientos de segmento medidos en su primera sesión de rehabilitación, realizando el ejercicio de abducción y aducción horizontal del hombro del brazo izquierdo, Fig. 10. La gráfica más representativa de movimiento del segmento es la Fig. 10 “Abducción Aducción Horizontal Hombro”, en la cual se observa un rango de

movilidad entre 0° y 90° grados, con un valor máximo de 73.66° grados y un valor mínimo de 8.5° grados.



Fig. 10. Movimientos de segmento para abducción y aducción horizontal de hombro. Brazo izquierdo.



Fig. 10. (continuación) Movimiento de segmento para abducción y aducción horizontal del hombro. Brazo izquierdo.

Siete días después, al mismo paciente se le analiza, en su segunda sesión, la ejecución del mismo movimiento. La Fig. 11 muestra solo el movimiento del segmento: abducción y aducción del hombro. Esta gráfica comparativa permite observar con mayor claridad las diferencias entre las dos sesiones.

En la primera gráfica de la Fig. 11 muestra los datos capturados durante la primera sesión, con color de línea morado oscuro en contraste con la segunda sesión en línea azul. Las dos sesiones presentan la misma forma aunque en la segunda sesión, su valor mínimo es de 0° grados, manteniendo el valor máximo de la primera sesión.

En segunda la gráfica de la Fig. 11 se pueden observar otros datos adicionales entre las sesiones. Valor máximo, mínimo, mediana, media, moda y desviación estándar de cada sesión.

Durante el ejercicio, se observa cómo el valor mínimo aumentó en la segunda sesión en cuanto que el valor máximo se mantiene.

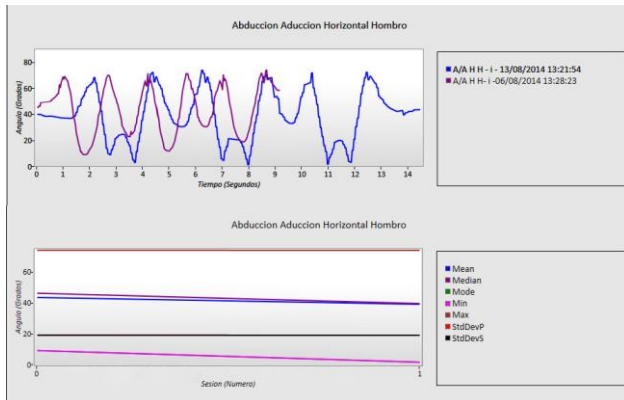


Fig. 11. Abducción y aducción horizontal de hombro. Brazo izquierdo. Comparación entre diferentes fechas.

A partir de los datos obtenidos y las gráficas generadas, diferentes tipos de análisis podrían ser realizados sobre uno o más ejercicios en un proceso de rehabilitación. Así por ejemplo, se podría realizar un análisis cuantitativo puntual considerando únicamente las gráficas y datos en cada sesión de rehabilitación, o un análisis cuantitativo global considerando al mismo tiempo los datos de todas o algunas de las sesiones realizadas durante el proceso de recuperación del paciente. Esto último facilitaría examinar la evolución del paciente en su progreso de rehabilitación a lo largo del tiempo.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología propuesta en este trabajo toma como ventaja las prestaciones de actuales sensores de captura que se encuentran en constante evolución, resultando en una solución que puede ser de gran ayuda para los especialistas en rehabilitación física. El modelo propuesto en este estudio permitió implementar una herramienta capaz de medir en tiempo real los movimientos de los miembros superiores de pacientes durante un ejercicio de rehabilitación. Por su bajo costo y fácil uso, es posible su utilización inclusive en el hogar del paciente, pudiendo estas sesiones ser supervisadas por personal específico o hasta asistidas de forma remota.

Gracias a las diferentes gráficas de los movimientos por segmento, es posible analizar los movimientos realizados durante un ejercicio de rehabilitación en su totalidad. Por medio de los datos capturados durante cada sesión, es posible también realizar un análisis histórico comparativo que permita evaluar la respuesta al tratamiento a lo largo del tiempo. Esto

es de gran importancia considerando que nuevos tratamientos podrían ser planteados por los especialistas en función de mejorar la efectividad de los tratamientos. Cada gráfica mostrada se encuentra acompañada de valores estadísticos representativos del movimiento que ayudan a determinar los rangos alcanzados que facilitan cuantificar el progreso.

Al poder medir los ángulos de movilidad articular con respecto a un segmento a través del tiempo, los datos generados son muchos más valiosos para el médico y asimismo fáciles de visualizar, por lo que el paciente solo necesita colocarse frente al sensor. En contraste con el goniómetro, el terapeuta debe acercarse al paciente y medir articulación por articulación para obtener los ángulos entre los segmentos, siendo este un procedimiento que demanda un tiempo mayor.

Además de poder analizar a pacientes con padecimientos traumatológicos, es posible emplear este sistema en pacientes con artrosis y otras patologías degenerativas osteomusculares.

Recientemente, con el Kinect v2 junto con el sdk 2.0 es posible detectar la orientación del brazo, por lo que se podría implementar el movimiento de pronación y supinación dando la oportunidad de incluir más movimientos a estudiar.

RECONOCIMIENTOS

Las pruebas experimentales de esta investigación fueron realizadas en el Centro de Rehabilitación Jorge Andrade, con la ayuda del Lic. en terapia física Jorge Andrade, expresando nuestro agradecimiento por el tiempo y guía brindada para el estudio de las rehabilitaciones físicas. Asimismo al Dr. Andrés Arco, médico cirujano especialista en medicina deportiva con subespecialidad en biomecánica y postura corporal, por su guía a base de su experiencia en el uso de herramientas tecnológicas de visión artificial.

REFERENCIAS

- [1] H. Zhou, H. Hu, Human motion tracking for rehabilitation—A survey, *Biomed. Signal Process. Control* (2007).
- [2] Rizzo A., Kim G. A SWOT Analysis of the Field of Virtual Reality Rehabilitation and Therapy. *Presence, Vol. 14, No. 2, April 2005*, 119 – 146.
- [3] Tanaka K., Sheehan D., Parker J., Holash J.R., Baradoy G. A Comparison of Exergaming Interfaces for Use in Rehabilitation Programs and Research. *Loading... The Journal of the Canadian Game Studies Association Vol 6(9): 69-81*
- [4] Anderson, F., Annett, M., & Bischof, W. F. (2010). Lean on Wii: Physical rehabilitation with virtual reality Wii peripherals. *Studies in Health Technology and Informatics, 154*, 229-234.
- [5] Deutsch, J.E., Borbely, M., Filler, J., Huhn, K., and Guarrera-Bowlby, P. Use of a low-cost, commercially available gaming console (Wii) for

- rehabilitation of an adolescent with cerebral palsy. *Physical Therapy* 88, 10 (2008), 1196-1207.
- [6] Flynn, S., Palma, P., and Bender, A. Feasibility of using the Sony PlayStation 2 gaming platform for an individual poststroke: a case report. *Journal of Neuro. Physical Therapy: JNPT* 31, 4 (2007), 180-189.
- [7] Alankus G., Lazar A., May M., Kelleher C. Towards Customizable Games for Stroke Rehabilitation. *CHI 2010: Therapy and Rehabilitation*.
- [8] Wollersheim, D., Merkes, M., Shields, N., Liamputtong, P., Wallis, L., Reynolds, F., & Koh, L. (2010). Physical and psychosocial effects of Wii video game use among older women. *International Journal of Emerging Technologies and Society*, 8(2), 85–98.
- [9] Pastor I., Hayes H., Bamberg S. A Feasibility Study of an Upper Limb Rehabilitation System Using Kinect and Computer Games. 34th Annual International Conference of the IEEE EMBS (2012).
- [10] Davaasambuu E., Chiang C., Chiang J., Chen Y., Bilgee S. A Microsoft Kinect based virtual rehabilitation system. *The 5th International Conference FITAT* (2012).
- [11] Chang C., Lange B., Zhang M., Koenig S., Requejo P., Somboon N., Sawchuk A., and Rizzo A. Towards Pervasive Physical Rehabilitation Using Microsoft Kinect. *The 6th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare* (2012).
- [12] “Xtion PRO developer solution to make motion-sensing applications and games” http://www.asus.com/Multimedia/Xtion_PRO_LIVE/
- [13] Rab G., Petuskey K., Bagley A. A method for determination of upper extremity kinematics. *Gait and Posture* 15 (2002) 113–119.
- [14] Rodríguez C., Quintero H., Aschner H. Movimiento del brazo humano: de los tres planos a las tres dimensiones. 22va *Revista de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes* (2005).
- [15] Rodríguez C., Quintero H., Gutiérrez D., Ashner H. Desarrollo de una herramienta de análisis de movimiento para brazo humano. *Biomecánica*, 13 (1), 2005, pp. 51-57.
- [16] “Configurar Kinect” <http://support.xbox.com/es-ES/xbox-360/kinect/kinect-sensor-setup>
- [17] “Room lighting conditions for Kinect” <http://support.xbox.com/en-US/xbox-360/kinect/lighting>
- [18] “JointType Enumeration” <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/microsoft.kinect.jointtype.aspx>
- [19] “JointTrackingState Enumeration” <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/microsoft.kinect.jointtrackingstate.aspx>
- [20] Mousavi H., Khademi M., Dodakian L., Cramer S., Videira C. A Spatial Augmented Reality Rehab System for Post-Stroke Hand Rehabilitation. *Medicine Meets Virtual Reality 20* (2013) 279-285.