

Digitalización del test de Tinetti mediante técnicas de Visión Artificial

J.D. Blasco García¹, G. García López², M. Jiménez Muñoz², J.A. López Riquelme², J.J. Feliu Batlle², N. Pavón Pulido², M.T. Herrero¹

¹ Neurociencia Clínica y Experimental (NiCE). Facultad de Medicina. Instituto de Investigación en Envejecimiento. IMIB-Pascual Parrilla. Universidad de Murcia, Murcia, España, {jesusdamian.blascog, mtherrer@um.es}

² Departamento de Automática, Ingeniería Eléctrica y Tecnología Electrónica, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España, {gabriel.garcia,marta.jimenez@edu.upct.es, jantonio.lopez,jorge.feliu,nieves.pavon@upct.es}

Resumen

En este trabajo se presenta un método, basado en Visión Artificial y técnicas de Deep Learning, que ayuda a los profesionales de la Salud, en el ámbito de la Rehabilitación, la Fisioterapia, la Terapia Ocupacional y la Geriatría, a almacenar, monitorizar y evaluar digitalmente los resultados de la aplicación del Test de Tinetti en pacientes mayores, de forma no invasiva y sin necesidad de utilizar accesorios electrónicos vestibles.

La técnica propuesta utiliza un sensor RGB-D de bajo coste para adquirir secuencias de imágenes con información de profundidad asociada. Cada imagen se utiliza como entrada de la solución MediaPipe Pose Landmarker que detecta puntos de referencia del cuerpo humano proporcionando la ubicación relativa de las principales articulaciones del mismo. Dichos puntos se proyectan sobre el sistema de referencia del sensor RGB-D utilizando los datos que éste proporciona acerca de la profundidad de cada píxel, lo que permite calcular una serie de medidas útiles para analizar, matemáticamente, las capacidades motoras y de equilibrio de los pacientes, cuando realizan las pruebas habituales que se especifican en el test de Tinetti.

El prototipo se ha validado, primero, en un entorno de laboratorio y, posteriormente, con pacientes reales en una residencia de mayores.

Los resultados de cada prueba se presentan de forma gráfica, de manera que, a través de la observación de dichas representaciones, los profesionales puedan evaluar la evolución motora de los pacientes, con el objeto de ayudar en la prevención de caídas.

1. Motivación

El envejecimiento de la población [1] ha incrementado notablemente el volumen de pacientes tanto en Atención Primaria, como en ciertas especialidades relacionadas con las dolencias propias de la edad avanzada, lo que supone un desafío para los sistemas de Salud en términos de gestión de recursos y un gran problema económico y social.

Uno de los problemas que afectan principalmente a las personas mayores se relaciona con la pérdida de las capacidades motoras por diferentes causas: la edad en sí, o enfermedades como la artrosis, la artritis, la sarcopenia, la osteoporosis o el deterioro cognitivo, entre otras. Aunque los problemas de movilidad pueden afectar a toda la población, están presentes, principalmente, en los mayores de 60 años y se incluyen dentro de la sintomatología de los síndromes geriátricos. Dichos problemas suelen ser origen de caídas que, en ocasiones, son mortales, o conllevan la pérdida total o parcial de movilidad y/o la afectación

cognitiva, cuando se produce un traumatismo en la cabeza. Es por ello, que la Organización Mundial de la Salud (OMS), resalta que “las estrategias preventivas deben hacer hincapié en (...) la priorización de la investigación relacionada con las caídas y el establecimiento de políticas eficaces para reducir los riesgos”, y considera que los trabajos de prevención en mayores deben incluir, entre otros, “intervenciones multifactoriales, como evaluaciones individuales del riesgo de caídas, seguidas de intervenciones y derivaciones médicas en función de los riesgos detectados” [2]. Nótese que los problemas motores afectan a casi el 20% de los individuos mayores de 65 años. A partir de los 75 años, aproximadamente el 50% de los ancianos tiene problemas para salir de su casa y un 20% se halla confinado en su domicilio.

En el contexto de la prevención de caídas, existen tests [3] y métodos de cribado para evaluar el riesgo mediante la observación de la postura, el equilibrio y la marcha. En su mayoría se basan en puntuar determinadas posturas o movimientos observando, subjetivamente, la ejecución de los mismos. Para unificar [4] y mejorar la precisión de estas pruebas se han realizado intentos de usar sensores de e-Health y herramientas digitales que toman datos de los movimientos del usuario-paciente y permiten cuantificar objetivamente una serie de parámetros. Se han probado sensores de diverso coste y precisión [5-9], obteniéndose resultados relativamente significativos, tras la realización de pruebas en entornos reales. En cuanto a las técnicas de reconocimiento de actividad humana o HAR (Human Activity Recognition), muy pocas se aplican para evaluar el riesgo de caída de personas, y menos si se trata de analizar automáticamente los parámetros relacionados con el equilibrio, la postura o la marcha definidos en los métodos documentados en el estado del arte (por ejemplo, el test de Tinetti [10]), y que son ampliamente utilizados por los profesionales de la Salud. A nivel de dispositivos comercializados para este fin, existen aplicaciones para dispositivos móviles inteligentes que permiten registrar las observaciones de los terapeutas, pero estas observaciones las hace el profesional y simplemente las registra, de manera digital, de una forma similar a realizar un apunte en una agenda.

El trabajo que se presenta explora una vía novedosa para ayudar a los terapeutas a predecir el riesgo de caídas a través de los tests habitualmente usados, pero digitalizando

el proceso mediante un sistema de Visión Artificial y la aplicación de técnicas de Deep Learning, para llevar a cabo las evaluaciones a través de una herramienta que analiza matemáticamente la evolución del equilibrio y de la actividad motora de los usuarios-pacientes. De forma resumida este trabajo se organiza como se indica a continuación: en la Sección 2 se detallan las arquitecturas hardware y software del sistema diseñado, la Sección 3 describe las pruebas realizadas y los resultados obtenidos y, finalmente, en la Sección 4 se analizan las ventajas y limitaciones del sistema y se esbozan los trabajos futuros a realizar para mejorar el prototipo desarrollado.

2. Diseño del sistema

El sistema desarrollado permite que un terapeuta proponga y evalúe ítems del test de Tinetti, mediante la captura de movimiento del usuario-paciente a través del sensor RGB-D mencionado. Concretamente, el test de Tinetti se define como un examen de valoración geriátrica ampliamente utilizado para evaluar el equilibrio y la marcha en adultos mayores, que consta de dos partes: una evaluación del equilibrio (9 posibles ítems) y una evaluación de la marcha (7 posibles ítems). Un ejemplo de ítem relacionado con el equilibrio es “Soporte bípedo (de pie)”, donde la persona debe pararse con los pies juntos, sin ayuda, y mantener la postura durante 10 segundos. Un ejemplo de ítem relacionado con la marcha es “Longitud del paso”, donde se evalúa la longitud de los pasos durante la marcha.

El sistema, que se compone de un conjunto de procesos ejecutados como nodos ROS (Robotic Operating System), en un ordenador personal convencional al que se ha conectado un sensor RGB-D (modelo Orbecc Astra Pro), permite llevar a cabo las siguientes tareas:

- Seleccionar un determinado ejercicio relacionado con el ítem correspondiente del test.
- Iniciar la captura de movimiento para dicho ejercicio usando el sensor RGB-D.
- Parar la captura de movimiento.
- Evaluar automáticamente, a lo largo del tiempo, la posición de los puntos de referencia del cuerpo humano que proporciona la solución MediaPipe Pose Landmarker, tomando la imagen RGB proporcionada por el sensor RGB-D como entrada y calculando la distancia de dichos puntos de referencia al sensor a partir de la imagen de profundidad obtenida del mismo.
- Calcular un conjunto de características a partir de la secuencia de puntos de referencia mencionados, expresados en el sistema de referencia del sensor RGB-D que permiten estimar, objetivamente, la capacidad del usuario-paciente para permanecer en equilibrio o describir una trayectoria concreta durante la marcha, según el ítem del test de Tinetti que deba realizar.

2.1. Características evaluadas.

Las características que la aplicación permite medir automáticamente (ver Figura 1), a partir del conjunto de

puntos de referencia del cuerpo humano obtenidos del par de imágenes proporcionados por el sensor RGB-D, son:

- Trayectoria: Camino descrito por el punto medio de la cadera proyectado sobre el suelo.
- Balanceo del tronco: Definido por el ángulo de inclinación de los hombros.
- Separación de brazos: Definido por los ángulos de los brazos y el tronco, uno para cada lado del cuerpo.
- Soporte de brazos: Definido por los ángulos formados por los segmentos que unen hombro, codo y muñeca. Útil para determinar si el usuario-paciente usa los brazos cuando se sienta o se levanta.
- Separación de tobillos: Definido por la distancia horizontal entre los puntos del tobillo.
- Zancada: Definido por la diferencia de profundidad entre las articulaciones del tobillo.
- Inclinación de tronco: Calculada como los ángulos entre hombro, cadera y rodilla de ambos lados del cuerpo.

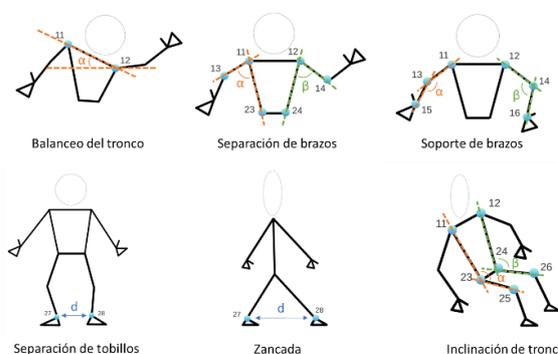


Figura 1. Características estimadas por la aplicación.

2.2. Relación de características con ítems del test de Tinetti.

La Tabla 1 muestra la relación existente entre las características estimadas de forma automática por la aplicación y los diferentes ítems del test de Tinetti (ver Tabla 2).

Ítem	Trayectoria	Balanceo de tronco	Separación de brazos	Soporte de brazos	Separación de tobillos	Zancada	Inclinación del tronco
1							x
2				x			x
3							x
4		x			x		
5		x			x		
6		x			x		
7		x			x		
8	x	x			x	x	
9		x		x			x
10	x						
11						x	
12						x	
13						x	
14	x						
15	x	x	x				
16					x		

Tabla 1. Relación entre características e ítems del test de Tinetti.

Por ejemplo, el balanceo del tronco y la separación de tobillos se utilizan para valorar varios ítems. El terapeuta observa los resultados de las dos características y asigna una puntuación a partir de los resultados gráficos mostrados por la aplicación.

ITEM	Significado		
1	Equilibrio sentado	9	Sentarse
2	Levantarse de la silla	10	Inicio de la marcha
3	Intentos de levantarse de la silla	11	Longitud y altura del paso
4	Equilibrio de pie inmediato (5'')	12	Separación de pies
5	Equilibrio de pie	13	Simetría del paso
6	Equilibrio al ser empujado	14	Continuidad del paso
7	Equilibrio con ojos cerrados	15	Trayectoria
8	Giro de 360 grados	16	Postura caminando

Tabla 2. Significado de cada ítem del test de Tinetti.

Además, puede compararse diferentes ítems del test aplicado en diferentes momentos, lo que facilita el seguimiento del usuario-paciente a lo largo del tiempo, observando si el riesgo de caída aumenta, disminuye o se mantiene.

3. Resultados.

El sistema se ha validado tanto en un entorno de laboratorio controlado, como en un entorno real. En el primer caso, los propios investigadores han realizado movimientos naturales y forzados para comprobar que el sistema puede estimar las características necesarias utilizadas para evaluar cada uno de los ítems del test de Tinetti. La Figura 2 muestra un ejemplo de representación gráfica del balanceo del tronco llevada a cabo por uno de los investigadores. Nótese que, si el usuario camina erguido y sin balancear el tronco, la señal oscila poco ya que la inclinación de la línea de los hombros apenas cambia y, por tanto, el ángulo de balanceo es estable; sin embargo, si durante la marcha se producen alteraciones significativas en dicho ángulo, se aprecian, claramente, los máximos.



Figura 2. Balanceo del tronco a lo largo del tiempo. Se mide el grado de inclinación de la línea de los hombros.

En el segundo caso, se seleccionó un conjunto de 6 usuarios-pacientes de una residencia de mayores (3 hombres y 3 mujeres), con diferentes patologías y capacidad motora. La prueba realizada fue supervisada por un fisioterapeuta. Dado que estas pruebas pretendían comprobar la eficacia del sistema de captura de movimientos y la usabilidad de la aplicación, sólo se solicitó a los participantes que realizaran 3 ejercicios:

- Sentarse/levantarse de una silla: Era interesante medir el soporte de brazos, entre otras características.
- Caminar en línea recta: Además de la trayectoria, se midió la posición de los brazos durante el trayecto.
- Mantener equilibrio (de pie, ojos abiertos).
- Mantener equilibrio (de pie, ojos cerrados).

El tiempo requerido por la mayoría de los usuarios-pacientes que participaron en la prueba fue de, aproximadamente, 20 minutos en total, ya que no es necesario ninguna preparación adicional de los sujetos (como colocación de dispositivos vestibulares u otros que puedan interferir en la vida diaria de los residentes). Sólo

se requiere determinar, adecuadamente, la posición del sensor RGB-D y suficiente espacio y distancia para que éste pueda capturar la imagen de la porción de cuerpo del usuario-paciente necesaria, mientras realiza los ejercicios de marcha o equilibrio propuestos.

La Figura 3 muestra un instante de la prueba "Levantarse/sentarse" realizada por un residente. La Figura 4 muestra otro instante de una prueba de equilibrio realizada por otro residente.



Figura 3. Aspecto de la aplicación mientras se realiza la prueba "Levantarse/sentarse".

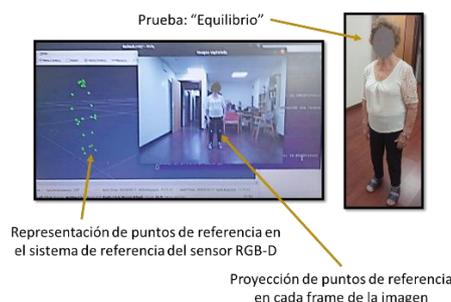


Figura 4. Aspecto de la aplicación mientras se realiza una prueba de equilibrio.

La Figura 5 muestra la gráfica correspondiente a la medida de la característica "Inclinación de tronco", realizada cuando se pide al usuario-paciente que se levante y se siente en una silla varias veces. Se observa la evolución del ángulo del tronco y se obtiene una señal con características de escalón. En el nivel alto (ángulos superiores a 160°) el sujeto estaría de pie, mientras que en nivel bajo de la señal (ángulos entre 120° y 140°) estaría sentado. El número de "escalones" se corresponde con el número de repeticiones de la prueba (pasar de sentado a en pie y viceversa), y el ancho de la señal da una idea del tiempo empleado para realizar el proceso. La Figura 6 muestra la trayectoria seguida mientras se evalúa la marcha (caminar recto 4 metros hacia la cámara). La Figura 7 muestra la separación de los pies y la posición de los brazos mientras se realiza la prueba de permanecer en equilibrio con los ojos cerrados. Se observa que el usuario-paciente no necesitó mover los brazos para mantener el equilibrio y, además, la posición de los pies fue correcta (juntos y estables).

4. Conclusiones y trabajo futuro.

A la vista de los resultados descritos, se ha diseñado un sistema útil para ayudar a los profesionales de la Salud a monitorizar y evaluar el riesgo de caídas en personas mayores, mediante la aplicación del conocido test de Tinetti, utilizando una herramienta informática.

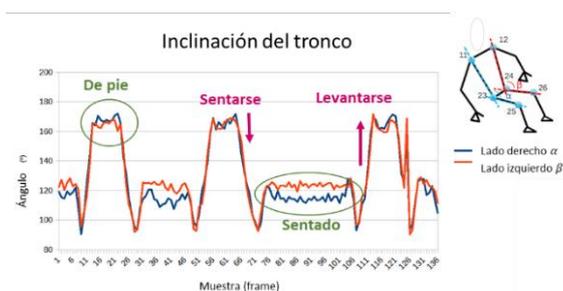


Figura 5. Proceso de levantarse/sentarse.

Trayectoria (Proyección en el plano del suelo)

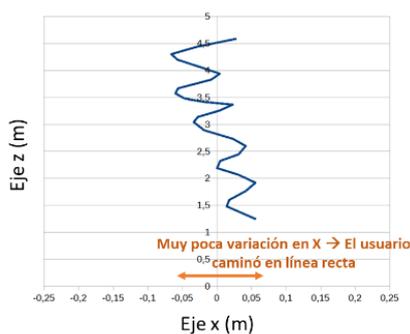


Figura 6. Trayectoria proyectada en el suelo.

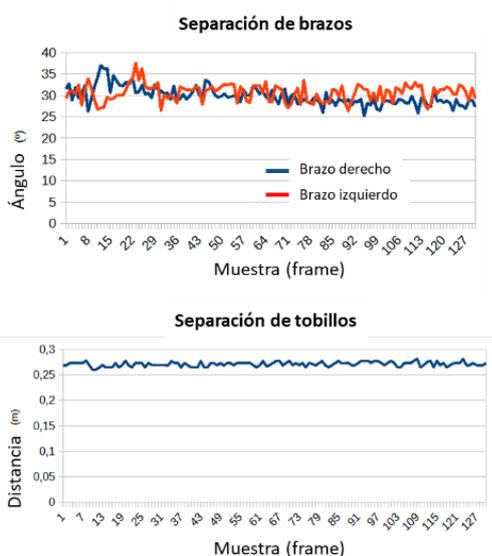


Figura 7. Medida del equilibrio con los ojos cerrados.

Dicha herramienta es capaz de capturar información sobre la capacidad motora y de equilibrio de los usuarios-pacientes, calcular una serie de características alineadas con los diferentes ítems del test, y representar gráficamente los resultados de cada prueba, permitiendo que el terapeuta pueda almacenarlos digitalmente, evaluarlos y compararlos.

Aunque existen sistemas de detección de caídas basados en el uso de dispositivos electrónicos vestibles, la aplicación propuesta es novedosa, ya que se usa un sensor RGB-D para realizar la adquisición de datos, lo que resulta más cómodo para el usuario, que no necesita portar ningún elemento adicional, y se mejora el coste económico del sistema, ya que se puede usar un único sensor de bajo coste para todos los usuarios-pacientes.

El sistema es aún un prototipo y se está trabajando en su mejora. Se está diseñando una plataforma en la Nube que permite la administración remota de la información, y un conjunto de módulos software, que extenderá las capacidades del sistema para que se pueda estimar automáticamente la puntuación del test de Tinetti, y otros similares, y predecir el nivel de riesgo de caída y la evolución del mismo, ayudando, así, a los profesionales de la Salud en la tarea de monitorización y seguimiento remoto de los usuarios-pacientes.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado a través del proyecto JUNO+ (TED2021-130942B-C21 / TED2021-130942A-C22), Ministerio de Ciencia e Innovación, y a través de la Fundación Séneca (Región de Murcia), beca 21593/FPI/21. Asimismo, cabe resaltar nuestro agradecimiento a la residencia de mayores “Edad Dorada Mensajeros de la Paz” de San Pedro del Pinatar (Murcia), por su desinteresada colaboración.

Referencias

- [1] 10 datos sobre el envejecimiento y la salud. <https://www.who.int/features/factfiles/ageing/es/> Visitada el 30/09/2020.
- [2] Organización Mundial de la Salud. Caídas. Enero 2018; <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs344/es/> Visitada el 03/12/2019.
- [3] Barry, E., et al. (2014). Is the timed up and go test a useful predictor of risk of falls in community dwelling older adults: A systematic review and meta- analysis. BMC Geriatrics, 14(1) doi:10.1186/1471-2318-14-14.
- [4] Mayhew, A. J., et al. (2023). Normative values for grip strength, gait speed, timed up and go, single leg balance, and chair rise derived from the canadian longitudinal study on ageing. Age and Ageing, 52(4) doi:10.1093/ageing/afad054
- [5] Vera-Remartínez, et al. (2023). Validity and reliability of an android device for the assessment of fall risk in older adult inmates. Nursing Open, 10(5), 2904-2911. doi:10.1002/nop2.1532.
- [6] Lv, X., et al. (2023). Information collection system for fall detection of stroke patients under cascade algorithm in the context of multi-modal information fusion and e-health. Expert Systems, 40(4) doi:10.1111/exsy.12809.
- [7] Morat, T., et al. (2023). Evaluation of a novel technology-supported fall prevention intervention – study protocol of a multi-centre randomised controlled trial in older adults at increased risk of falls. BMC Geriatrics, 23(1) doi:10.1186/s12877-023-03810-8.
- [8] Yun, S., et al. (2023). Fine-grained motion recognition in at-home fitness monitoring with smartwatch: A comparative analysis of explainable deep neural networks. Healthcare (Switzerland), 11(7) doi:10.3390/healthcare11070940
- [9] Massimo W. Rivolta, et al., Evaluation of the Tinetti score and fall risk assessment via accelerometry-based movement analysis, Artificial Intelligence in Medicine, Vol. 95, 2019, pp. 38-47, <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2018.08.005>
- [10] Michel Raïche, et al., Screening older adults at risk of falling with the Tinetti balance scale, The Lancet, Volume 356, Issue 9234, 2000, Pages 1001-1002, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)02695-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02695-7)