



ORIGINAL BREVE

Reproducibilidad de los tiempos de ejecución de la prueba de *Timed Up and Go*, medidos con acelerómetros de *smartphones* en personas mayores residentes en la comunidad



Jorge Campillay Guzmán^{a,*}, Ricardo Guzmán Silva^b y Rodrigo Guzmán-Venegas^c

^a Centro de Investigación en Gerontología Aplicada (CIGAP), Universidad Santo Tomás, Sede Antofagasta, Chile

^b Centro de Investigaciones Médicas del Instituto Traumatológico (CIMIT), Santiago, Chile

^c Laboratorio Integrativo de Biomecánica y Fisiología del Ejercicio (LIBFE), Universidad de Los Andes, Santiago, Chile

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 21 de octubre de 2016

Aceptado el 21 de febrero de 2017

On-line el 29 de abril de 2017

Palabras clave:

Reproducibilidad
Acelerometría
Personas mayores
Smartphone
Timed Up and Go

RESUMEN

Introducción: Las unidades de medición inercial (UMI) incorporadas en los teléfonos inteligentes (*smartphones*) permiten registros que concuerdan con los obtenidos por instrumentos de laboratorio, por lo cual sería factible el uso de *smartphones* para el registro de parámetros cinemáticos como la velocidad y aceleración, permitiendo mayor robustez en los análisis de test que evalúan el riesgo de caídas en personas mayores (PM) residentes en la comunidad, tales como el *Timed Up and Go* (TUG).

Método: 35 PM de sexo femenino residentes en la comunidad, usuarias de los Centros de Salud Familiar (CESFAM) Juan Pablo II y Corvallis de la ciudad de Antofagasta, Chile, fueron evaluadas con el TUG; simultáneamente se registró la aceleración y velocidades lineal y angular utilizando un *smartphone* equipado con una UMI tridimensional. Mediante un macro computacional se determinaron los tiempos de inicio y fin de cada subetapa del test por 2 observadores independientes. La reproducibilidad de los subtiempos de cada subetapa del TUG fue evaluada con el coeficiente de correlación intraclase (CCI).

Resultados: El CCI para el tiempo de las subetapas tuvo valores de entre 0,78-0,99, con intervalo de confianza aceptable (0,45-1,00), constituyendo un registro reproducible y confiable para la valoración del riesgo de caídas en PM autovalentes de la comunidad.

Conclusiones: La reproducibilidad de los tiempos de las subetapas del TUG registradas con UMI de un *smartphone* permiten su uso para la práctica clínica con grupos de PM, mejorando la evaluación y la prevención del riesgo de caída.

© 2017 SEGG. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Reproducibility of quantifying Timed Up and Go test, measured with smartphone accelerometers in older people living in the community

ABSTRACT

Introduction: Inertial Measurement Units (IMU) incorporated in smartphones can provide records that match registers obtained by laboratory instruments. This means that the use of smartphones would be feasible for recording three-dimensional kinematics parameters like velocity and acceleration, enabling more robust analyses, such as the Timed Up and Go (TUG) test, that assess the risk of falls older people (OP) living in the community.

Method: The study included 35 female OP, users of the Family Health Centres (CESFAM) Juan Pablo II and Corvallis from Antofagasta city, Chile. They were evaluated with the TUG, with linear and angular acceleration and velocity being recorded simultaneously using a smartphone equipped with a three-dimensional IMU. Using a computer macro application, the start and end time of each sub-stage of the test was determined by two independent observers. Reproducibility of the times of each sub-stage of TUG was assessed using the Intraclass Correlation Coefficient (ICC).

Keywords:

Reproducibility
Accelerometry
Older people
Smartphone
Timed Up and Go

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jcampillay@santotomas.cl (J. Campillay Guzmán).

Results: The ICC gave values of 0.78 to 0.99, with an acceptable confidence interval, (0.45–1.00), thus providing a reproducible and reliable recording.

Conclusions: The reproducibility of the times of the sub-stages of TUG, recorded with inertial measurement units from a smartphone enables it to be used in clinical practices with OP groups, in order to improve the evaluation and prevention of the risk of falls.

© 2017 SEGG. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Los acelerómetros son considerados como unidades de medición inercial (UMI), los cuales han resultado útiles para evaluar el movimiento. Estos dispositivos han demostrado una buena capacidad de detectar adecuadamente eventos del movimiento humano y, en particular, una excelente reproducibilidad en la evaluación de las fases de la marcha de las personas mayores (PM)¹, habiendo además demostrado su utilidad para evaluar tareas motoras en ambientes habituales². También han demostrado buena correlación con test clínicos y en la discriminación entre PM con y sin riesgo de caídas³. La prueba de *Timed Up and Go* (TUG)⁴ es un test clínico ampliamente utilizado para valorar el riesgo de caída^{5,6}. La instrumentación de este test con acelerometría ha permitido la evaluación de las subetapas del test, tales como la transición de sedente a bípedo y el giro⁷.

En los dispositivos de comunicación móvil o *smartphones* se ha incorporado tecnología cada vez más avanzada, la cual incluye, entre otros, las UMI compuestas por acelerómetros, giroscopios y magnetómetros. Mellone et al.⁸ estudiaron y describieron la concordancia entre los datos capturados por las UMI de los *smartphones* y los obtenidos con sistemas de captura de movimiento de laboratorio. Dichas investigaciones demostraron que existe una buena concordancia entre ambos dispositivos, de modo que la utilización de las UMI de los *smartphones* como instrumentos de evaluación y seguimiento en la población se ha hecho factible. Sin embargo, se desconoce si los registros de acelerometría realizados con un *smartphone* permiten evaluar, con una alta reproducibilidad, el tiempo de las subetapas de la prueba funcional TUG. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar la reproducibilidad de los tiempos transcurridos entre el inicio y el final de las subetapas del test TUG registrados con un *smartphone* en PM residentes en la comunidad.

Método

Voluntarios

Mediante un muestreo consecutivo no probabilístico, se reclutaron 35 mujeres mayores de 65 años residentes en la comunidad, usuarias de los Centros de Salud Familiar (CESFAM) de Corvallis y Juan Pablo II en la ciudad de Antofagasta, Chile. A todas las voluntarias se les aplicó el Examen Anual de Medicina Preventiva del Adulto Mayor (EMPAM), el cual incluye la ejecución del test TUG. Todas las voluntarias dieron su consentimiento informado de manera escrita. Los procedimientos de este estudio fueron aprobados por el comité de ética del Servicio de Salud de Antofagasta. Las características demográficas de la muestra se presentan en la [tabla 1](#).

Procedimiento

El test clínico TUG fue aplicado por fisioterapeutas experimentados siguiendo el protocolo establecido por el *Manual de prevención de caídas en el adulto mayor* del Ministerio de Salud de Chile⁹. Durante la ejecución del TUG, se registró las cinemáticas lineal y

Tabla 1

Características demográficas de la muestra (n = 35)

Variable	Promedio ± DE	
Edad	76,2 ± 5,2	
Peso	87,4 ± 10,3	
Comorbilidad ^a	Frecuencia absoluta	Porcentaje
Artrosis de cadera y rodilla	21	60,0
Artrosis de rodilla	9	25,7
Hipertensión arterial	16	45,7
Diabetes mellitus tipo 2	17	48,6
Historia de caída previa ^b	13	37,1

DE: desviación estándar.

^a La mayor parte de las personas mayores de la muestra tenían más de un tipo de comorbilidad asociada.

^b Autorreporte en la consulta: ¿ha sufrido caídas en los últimos 3 meses?

angular asociadas a la prueba mediante una UMI integrada en un *smartphone* (iPhone 4, Apple Inc.) que se ubicó en el tronco, a la altura de la tercera vértebra lumbar (L3), de acuerdo con el procedimiento descrito por Moe-Nilssen y Helbostad¹⁰, fijándolo por medio de una cincha ajustable. Los registros de acelerometría se capturaron con una frecuencia de 100 Hz, usando la aplicación *Sensor Data* (Wavefront Labs, 2010). Antes de comenzar la prueba, se determinaron los valores de referencia para la UMI. Para ello se solicitó a cada persona mantenerse quieta, sentada en una silla y con su tronco recto, durante 3 s. Luego, cada voluntaria fue instruida para realizar el TUG, el cual consistió en levantarse de una silla estándar, sin apoyar los brazos y de 0,47 m de altura, para luego caminar a una velocidad natural hasta un cono a 3 m de distancia, girar y volver a sentarse en la misma silla.

Los datos recolectados fueron analizados en un ordenador personal. Las señales de aceleración fueron procesadas según lo descrito por Mellone¹¹. Las variables de análisis fueron los tiempos de inicio y fin de las siguientes subetapas del test TUG. i) Transición sedente-bípedo: tiempo medido entre el despegue de la silla hasta que se alcanzó la posición bípeda. ii) Giro en 180°: tiempo requerido para dar la vuelta al cono en 180°. iii) Marcha: tiempo transcurrido entre el fin de la transición sedente-bípedo y el inicio de la transición bípedo-sedente. iv) Transición bípedo-sedente: tiempo requerido para pasar de la posición bípeda a la sedente sobre la silla. v) Duración total del TUG: tiempo entre el inicio del sedente-bípedo y el fin del bípedo-sedente. La [figura 1](#) presenta un esquema de cada subetapa.

La reproducibilidad de los tiempos registrados en la aplicación fue evaluada mediante el coeficiente de correlación intraclass (CCI). Para ello, se utilizó un análisis de varianza de una vía con un intervalo de confianza del 95%. Además se consideraron los efectos de la variabilidad entre voluntarias y entre las medidas de cada una de las subetapas. Los CCI fueron interpretados según lo propuesto por Landis y Koch¹² (0: pobre; 0,01–0,20: leve; 0,21–0,40: regular; 0,41–0,60: moderado; 0,61–0,80: substancial y 0,81–1,00: casi perfecto). Para el análisis estadístico se usó el paquete estadístico Stata 12 (Stata Corp. 4905 Lakeway Drive. College Station, Texas 77845 EE. UU.).

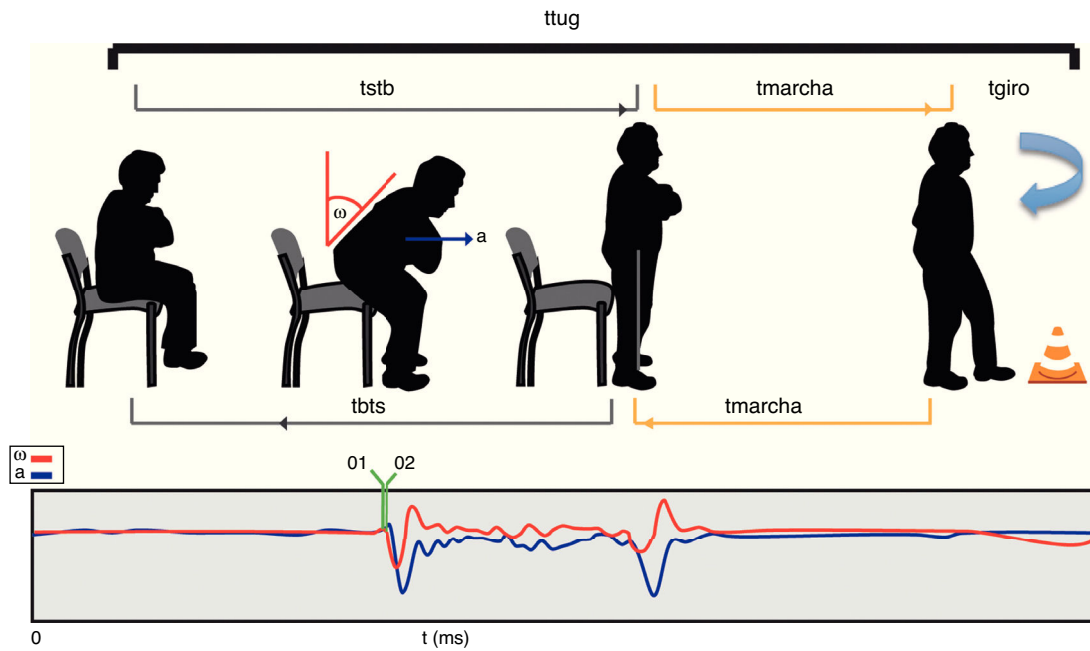


Figura 1. Esquema de las subetapas de la prueba TUG, esquema de señal y propuesta de puntos candidatos por cada observador. ω : velocidad angular alrededor del eje medio-lateral; a: aceleración antero-posterior; ms: milisegundos; O1: punto de inicio determinado por observador 1; O2: punto de inicio determinado por observador 2; t: tiempo; tsubts: tiempo de transición de bípodo a sedente; tgiro: tiempo durante el giro en 180°; tmarcha: tiempo del periodo de marcha; tsub: tiempo de transición de sedente a bípodo; ttug: tiempo total del TUG; TUG: *Timed Up and Go*.

Resultados

El procesamiento de la señal en el dominio del tiempo ejecutado a través de un macro computacional ejecutado en Matlab® (MathWorks Inc. R 2014b) permitió la determinación de los puntos de inicio y fin de las subetapas del TUG, obteniendo de esta forma el tiempo medido en milisegundos transcurrido en cada una por 2 observadores en forma independiente. Las diferencias absolutas entre los tiempos determinados por los observadores variaron entre 1 y 80 ms ($\bar{X} = 42, 17$ ms) para las subetapas con mejor reproducibilidad y entre 55 y 1.003 ms ($\bar{X} = 312, 77$ ms) para las subetapas con menor reproducibilidad. Los registros con mejor reproducibilidad fueron los tiempos de marcha y el tiempo total del TUG. Por su parte, el registro con más baja reproducibilidad fue el tiempo de giro, lo que podría corresponder a la dificultad que representa el establecimiento del tiempo *peak* de la señal del giroscopio en su eje vertical. La determinación del tiempo total del TUG permitió clasificar a 11 PM (31%) con riesgo de caída, con un tiempo total mayor o igual a 15 s de acuerdo con el *Manual de prevención de caídas en el adulto mayor* del Ministerio de Salud de Chile⁹, coincidiendo con la clasificación efectuada por medio del cronometrado clínico de la prueba ejecutado de forma simultánea con cronómetro digital. Los CCI, con sus respectivos intervalos de confianza para cada subetapa del test TUG, se presentan en la [tabla 2](#).

Discusión

El análisis cinemático por medio de sistemas de análisis de movimiento de laboratorio ha demostrado su capacidad de diferenciar entre PM frágiles y personas jóvenes, particularmente las transiciones sedente-bípodo, bípodo-sedente y duración total de TUG¹³. El registro de acelerometría de laboratorio ha sido ampliamente utilizado para caracterizar y diferenciar las características de las PM autovalentes, frágiles o con enfermedades neurológicas¹⁴, siendo las transiciones sedente-bípodo, bípodo-sedente y giro las más utilizadas. Galán-Mercant y Cuesta-Vargas utilizaron la UMI de un *smartphone* Iphone 4® para registrar parámetros cinemáticos

Tabla 2

Coefficiente de correlación intraclass para cada subetapa del TUG

Variable	CCI (IC 95%)	Clasificación cualitativa ^a
tsubts	0,96 (0,91-1,00)	Casi perfecta
tgiro	0,78 (0,45-0,96)	Sustancial
tmarcha	0,99 (0,99-1,00)	Casi perfecta
tsub	0,94 (0,86-1,00)	Casi perfecta
ttug	0,99 (0,99-1,00)	Casi perfecta

CCI: coeficiente de correlación intraclass; IC 95%: intervalo de confianza al 95%; tsubts: tiempo de transición de bípodo a sedente; tgiro: tiempo durante el giro en 180°; tmarcha: tiempo del periodo de marcha; tsub: tiempo de transición de sedente a bípodo; ttug: tiempo total del TUG; TUG: *Timed up and Go*.

^a Según Landis y Koch¹².

lineales y angulares de las transiciones sedente-bípodo y bípodo-sedente en forma aislada, demostrando diferencias entre PM frágiles y no frágiles¹⁵ en una muestra con características demográficas similares a las del presente estudio, sin embargo, sus conclusiones se basan en el análisis de la diferencia de promedios de los valores máximos de las aceleraciones lineal y angular, sin reportar el tiempo transcurrido en las transiciones. El presente estudio es el primero que se centra en el análisis de la reproducibilidad de los tiempos transcurridos en las transiciones y subetapas del TUG por medio de UMI de un *smartphone*, ya que los valores del registro de aceleración pueden contener artefactos propios de un dispositivo que se fija en el cuerpo de una persona y pueden contener registros de aceleración del propio dispositivo, confundiendo su magnitud.

Conclusión

Los tiempos de las subetapas del TUG medidas a través de UMI de *smartphone* son altamente reproducibles, lo que podría permitir extender su uso en el área clínica, particularmente en atención primaria, posibilitando el registro de los test que se ejecutan de manera habitual a los usuarios y la generación de datos normativos en población chilena. Contar con tales registros podría facilitar el diseño de una aplicación para *smartphone* que permita detectar

aqueellos casos que estén fuera del rango que se establezca esperable para la variabilidad de cada subetapa, ofreciendo una mejora sustancial al actual proceso de evaluación, promoción y prevención, así como en la planificación y programación de estrategias de intervención que complementen las actuales guías diseñadas al efecto.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Howcroft J, Kofman J, Lemaire E. Review of fall risk assessment in geriatric populations using inertial sensors. *J Neuroeng Rehabil*. 2013;10:91.
- Zampieri C, Salarian A, Carlson-Kuhta P, Nutt J, Horak F. Assessing mobility at home in people with early Parkinson's disease using an instrumented Timed Up and Go test. *Parkinsonism Relat Disord*. 2011;17:277–80.
- McGrath D, Greene B, Doheny E, McKeown D, de Vito G, Caulfield B. Reliability of quantitative TUG measures of mobility for use in falls risk assessment. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2011:466–9.
- Mathias S, Nayak US, Isaacs B. Balance in elderly patients: The 'get-up and go' test. *Arch Phys Med Rehabil*. 1986;67:387–9.
- Schoene D, Wu S, Mikolaizak A, Menant JC, Menant J, Smith S, et al. Discriminative ability and predictive validity of the timed up and go test in identifying older people who fall: Systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc*. 2013;61:202–8.
- Palmerini L, Mellone S, Avanzolini G, Valzania F, Chiari L. Quantification of motor impairment in Parkinson's disease using an instrumented timed up and go test. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2013;21:664–73.
- Ganea R, Paraschiv-Ionescu A, Bula C, Rochat S, Aminian K. Multi-parametric evaluation of sit-to-stand and stand-to-sit transitions in elderly people. *Med Eng Phys*. 2011;33:1086–93.
- Mellone S, Tacconi C, Chiari L. Validity of a smartphone-based instrumented Timed Up and Go. *Gait Posture*. 2012;36:163–5.
- López L R, Mancilla S E, Villalobos C A, Herrera V P. Ministerio de Salud (MINSAL). En: Villalobos C A, López L R, editores. Manual de prevención de caídas en el adulto mayor. Chile: MINSAL; 2010.
- Moe-Nilssen R, Helbostad J. Estimation of gait cycle characteristics by trunk accelerometry. *J Biomech*. 2004;37:121–6.
- Mellone S. Movement analysis by means of inertial sensors: From bench to bedside. *AMS Tesi di Dottorato*. Italia: Università di Bologna; 2013.
- Landis J, Koch G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33:159–74.
- Hassani A, Kubicki A, Brost V, Mourey F, Yang F. Kinematic analysis of motor strategies in frail aged adults during the Timed Up and Go: How to spot the motor frailty? *Clin Interv Aging*. 2015;10:505–13.
- Millor N, Lecumberri P, Gomez M, Martinez-Ramirez A, Izquierdo M. Kinematic parameters to evaluate functional performance of sit-to-stand and stand-to-sit transitions using motion sensor devices: a systematic review. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2014;22:926–36.
- Galán-Mercant A, Cuesta-Vargas AI. Differences in trunk accelerometry between frail and nonfrail elderly persons in sit-to-stand and stand-to-sit transitions based on a mobile inertial sensor. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2013;1:e21.