

SOLITARIO-PEG-VR: VIDEOJUEGO PARA EVALUACIÓN DE DESTREZA MANUAL CON INTERACCIÓN NATURAL EN ENTORNO INMERSIVO

Edwin Daniel Oña*, Carlos Balaguer, Alberto Jardón
Universidad Carlos III de Madrid

*eona@ing.uc3m.es

Resumen

Actualmente, los procedimientos de evaluación funcional se caracterizan por ser laboriosos, con poca digitalización de resultados, y una reducida adaptabilidad a las necesidades particulares de los pacientes. En este artículo, se presenta una novedosa línea de investigación enfocada en la automatización de escalas clínicas de evaluación funcional de la extremidad superior utilizando “serious games” y realidad virtual (RV). Se describe el proceso de automatización usando RV del “Peg Solitaire” ampliamente usadas para medir el nivel de destreza manual durante neurorehabilitación. Se utiliza un visor Oculus Quest 2 para presentar el entorno virtual al usuario, la cual permite interactuar por medio de los controladores y de forma natural con el sistema de reconocimiento de gestos.

Palabras clave: Serious games, Destreza manual, rehabilitación

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el campo relacionado con la realidad virtual está creciendo de manera exponencial y cada vez está tomando una mayor importancia no solo en el ámbito de los videojuegos, sino también en un amplio rango de industrias y otros tipos de sectores. Muchas son las empresas que aprovechan este tipo de sistemas de inmersión para proporcionar servicios complementarios o sustitutivos a los que ya prestaban anteriormente. Por ejemplo, ya es posible visitar algunos de los museos más conocidos del planeta desde tu casa o incluso visualizar los planos de un edificio en construcción en tres dimensiones.

El sector de la medicina no es ajeno a este tipo de innovaciones, sino que también se mantienen bastante actualizados. En algunas universidades se emplean este tipo de sistemas para que los estudiantes puedan simular operaciones o estudiar la anatomía humana sin necesidad de un cuerpo real, aspecto que resulta bastante útil si se llegase a dar otro caso de estado de alarma y se tuviera

que volver a adoptar el modelo de enseñanza telemática, como el que se dio durante la pandemia del Covid-19.

2. TRABAJOS RELACIONADOS

Actualmente, el marco conceptual propuesto por la OMS de clasificación de funcionalidad, discapacidad y salud (CIF), es el modelo internacional predominante dentro de la rehabilitación neurológica para medir la salud y la discapacidad [11]. Según la CIF, la funcionalidad de una persona se puede clasificar en tres niveles: funcionalidad a nivel del cuerpo o parte del cuerpo, la persona completa y la persona completa en un contexto social. En consecuencia, la discapacidad implica disfuncionalidad en uno o más de estos mismos niveles: impedimentos, limitaciones de la actividad y restricciones de participación. Las herramientas de evaluación utilizadas en la evaluación funcional también se pueden clasificar de acuerdo con la CIF como se muestra en [8].

Considerando que la rehabilitación es un proceso laborioso y costoso, que su efectividad se mide usando escalas manuales objetivas pero cuya interpretación puede ser subjetiva, y que existen recursos inadecuados para pacientes con trastornos neurológicos en la mayor parte del mundo, se pone de manifiesto la necesidad de elaborar procesos de rehabilitación más autónomos y objetivos.

Otten et al. [7] proponen un método de evaluación usando sensores de bajo coste que registra datos de los movimientos del usuario. Las puntuaciones obtenidas en la evaluación fueron comparadas con las obtenidas con el Fugl-Meyer Assessment (FMA) mostrando resultados similares. De esta manera mostraron que el FMA se puede automatizar. Otro estudio para automatizar el FMA por medio de sensores se muestra en [10]. En [9] se propone una evaluación automática basada en la prueba llamada Wolf Motor Function Test (WMFT). Usando sensores que los usuarios deberían llevar encima (wearables), se estima el tiempo necesario para completar 7 de las 17 tareas de la prueba. Otro trabajo en curso se presenta en [4], que tiene como objetivo automatizar el Action

Research Arm Test (ARAT). En dicho estudio, se ha desarrollado la automatización de la subprueba de comprensión del ARAT, mediante la sensorización de uno de los objetos utilizados en la tarea, en este caso un cubo de 7.5 cm.

En [3] se presenta la automatización del Box and Blocks Test (BBT) mediante una cámara Kinect para identificar el número de cubos transportados, obteniendo una tasa de éxito en el conteo del 90 % hasta 80 bloques. Por otro lado, una versión virtualizada del BBT se desarrolló por Cho et al. [1] usando una Kinect V1. Este sistema virtual presenta una correlación con el sistema real. Los dos sistemas anteriores son capaces de detectar la mano y sus movimientos moderadamente, sin embargo, la administración automática de la prueba no se aborda. Otra versión virtual del BBT fue desarrollada por Gieser et al. [2] usando un sensor Leap motion. Este sensor mejora altamente la detección de los movimientos de la mano y dedos, pero la administración automática de la prueba no se aborda. Esta limitación fue estudiada por Oña et al. [6], incluyendo además un entorno completamente inmersivo que fomenta la administración automática del BBT.

Así, se observa que varios trabajos se centran en la detección de movimientos de las extremidades superiores por medio de sensores que el paciente debe usar, sensorizando objetos usados en las pruebas, o a través de sistemas de visión por computadora. De esta manera, se busca obtener plataformas de evaluación automáticas que sean objetivas, dinámicas, que muestren repetibilidad, capacidades de diagnóstico y que puedan proporcionar más información que las escalas tradicionales. Sin embargo, aún no se ha implementado un sistema automatizado completo y, por lo tanto, un sistema que se pueda administrar sin intervención de los médicos. La tecnología de RV puede contribuir a modelar la interacción paciente-terapeuta e incrementar la administración autónoma de las pruebas.

3. METODOLOGÍA

La rehabilitación neurológica asistida por robots ha ido creciendo e incorporando avances en robótica junto con neurociencia y rehabilitación, para definir nuevos métodos de tratamiento de problemas relacionados con lesiones neurológicas. Una reciente revisión de la literatura en neurorehabilitación enfocada en la extremidad superior [5], ha relacionado la contribución de la robótica con el ciclo de rehabilitación (valoración, asignación, intervención y evaluación) y ha mostrado que para obtener procesos de rehabilitación más autónomos, debe existir una comunicación adecuada entre los

componentes del proceso y aprovechar las métricas objetivas obtenidas por los sistemas robóticos. Esta metodología está ilustrada en la Figura 1.

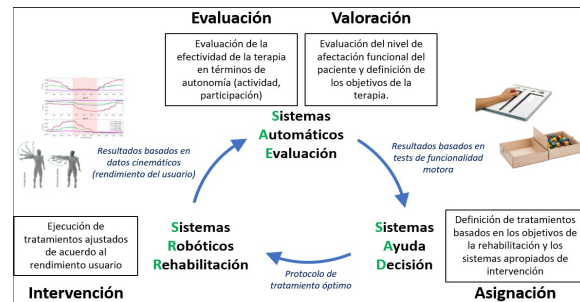


Figura 1: Metodología para automatización del Ciclo de Rehabilitación

En este contexto, la línea de trabajo presentada en este artículo abarca la automatización por medio de la realidad virtual de uno de los componentes principales del ciclo de rehabilitación: la evaluación automática de funcionalidad motora. De cara al desarrollo sistemas automatizados de evaluación, se deben considerar varios factores como el tipo de prueba, las métricas obtenidas y la aceptación tanto por los terapeutas como por los pacientes.

En la mayoría de casos, los métodos de evaluación se componen de ejercicios bien definidos (tareas específicas) basados en puntuaciones numéricas, que pueden ser susceptibles de ser automatizadas. Así mismo, aquellas pruebas que no requieran contacto físico con el terapeuta serán más adecuadas para automatizar. Este aspecto facilita que la interacción paciente-terapeuta se pueda modelar con un entorno virtual.

De esta manera, en este artículo se presenta el proceso de automatización de un juego utilizado en ámbitos clínicos para medir la destreza manual y funcionalidad cognitiva, que cumplen con características como que: (a) la puntuación de la prueba es simple (métrica simple), (b) sus instrucciones son sistemáticas y claras, y el desarrollo de la prueba está bien definido (interacción paciente-terapeuta modelable), así como (c) un amplio uso en entornos clínicos como método de evaluación de la destreza manual en neurorehabilitación. Así, se ha seleccionado el “Peg Solitaire” para desarrollar una versión basada en Realidad Virtual. A continuación, se describe el proceso de virtualización del “Peg Solitaire”.

4. PEG SOLITAIRE VIRTUAL

El Senku o Peg Solitaire es un juego que consiste en 33 agujeros en su versión inglesa, que es la utilizada en este trabajo, dispuestos en forma de cruz

(ver la Figura 2). En su versión original, cada uno de los huecos tiene una esfera o una ficha, a excepción del hueco central. El objetivo del juego es eliminar todas las fichas del tablero, a excepción de una que tiene que ocupar la posición central del tablero (centro de la cruz).



Figura 2: Tablero del Peg Solitaire.

Para eliminar las fichas, se pueden realizar movimientos ilimitados, pero atendiendo a unas reglas básicas para que sean movimientos válidos: (1) las esferas se pueden desplazar en vertical y en horizontal, no en diagonal; (2) la ficha desplazada tiene que pasar por encima de otra adyacente en cada movimiento; (3) solo se puede pasar por encima de una ficha, es decir, no se pueden eliminar más de una ficha en cada movimientos. Cuando la ficha desplazada cumple con las reglas previas, la ficha por la que se pasó por encima se elimina del tablero. En la Figura 3 se ejemplifican un movimiento válido horizontal y otro vertical. Las fichas que se mueven parten de los huecos x y x' respectivamente y terminan en las posiciones z y z' , pasando por y y y' que cuentan con una ficha que se retira tras finalizar el movimiento.

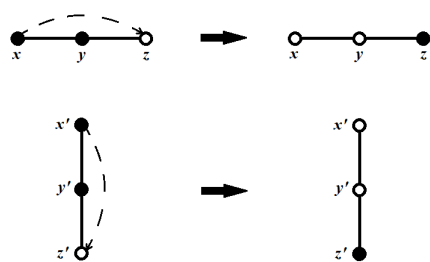


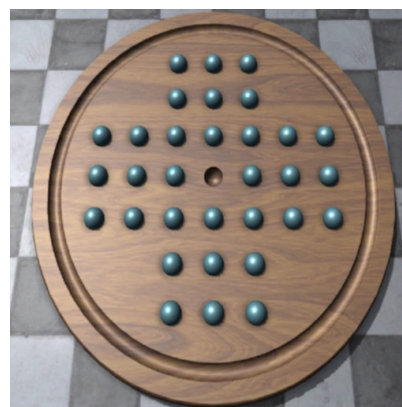
Figura 3: Movimiento válido en el Peg Solitaire.

4.1. Peg-Solitaire en realidad virtual

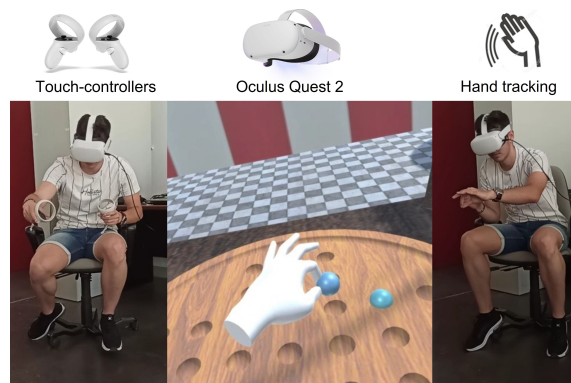
El objetivo del presente trabajo es desarrollar una versión para realidad virtual (completamente inmersiva) del juego Peg Solitaire, manteniendo el diseño, reglas y mecánica del juego original. Además, se busca incorporar nuevas capacidades a la versión virtualizada para extender las capaci-

dades de sistema como herramienta de evaluación y rehabilitación motora y cognitiva.

En la Figura 4 se ilustran los modos de uso del sistema propuesto. Para que el usuario visualice el entorno virtual, se han utilizado las gafas Oculus Quest 2. Se puede apreciar que la interacción con paciente es implementada por medio de los mandos/controladores de las gafas VR, así como de forma natural sin sensores por medio del sistema de reconocimiento de gestos que incorpora las gafas VR.



(a) Versión virtual de Peg Solitaire



(b) Modo de uso

Figura 4: Esquema del modo de uso.

4.2. Integración de reglas del juego

Con la finalidad de asegurar el cumplimiento de las reglas del juego en lo que respecta a los movimientos, se ha asignado un número a cada uno de los huecos del tablero, véase la Figura 5-anmn. Además, cada uno de ellos posee dos listas de elementos diferentes, una de ellas contiene las posiciones del tablero que serían movimientos válidos si se toma ese hueco como origen del desplazamiento y la otra lista, las posiciones de las fichas que se eliminarían con cada movimiento. De manera que a la primera posición de la lista de movimientos válidos le corresponde eliminar la ficha que se encuentra en la primera posición de la segunda lista

del hueco.

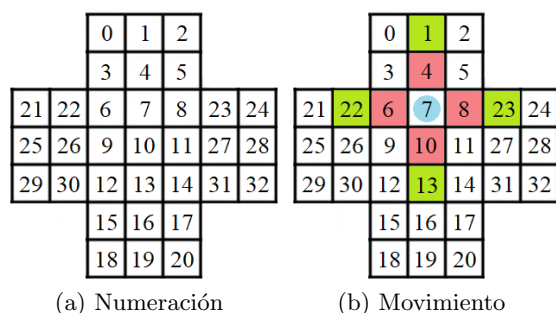


Figura 5: Números de los huecos del tablero.

La Figura 5-b ejemplifica lo explicado anteriormente. Si se quiere mover el peg situado en el hueco número 7, éste se podrá desplazar a todas las posiciones que aparecen en color verde, siempre y cuando estén libres y se encuentre una ficha entre el hueco final y el inicial. Una vez desplazada la ficha, el juego retira automáticamente el peg que se encuentra en la posición de color rojo que está entre la 7 y la final. Por ejemplo, si se mueve a la posición 23, se retirará el peg del hueco 8.

El juego considera que un movimiento se ha iniciado cuando el usuario coge una de las fichas, retirándola del hueco donde estaba situada, y puede finalizar de dos maneras distintas:

- Cuando se sitúa en un nuevo hueco. Cada uno de ellos tiene asignado un ‘Collider’ que no son visibles para el usuario, de manera que cuando la esfera entre en contacto con él, el juego sabe que el participante tiene la intención de colocar el peg en esa posición. Una vez ocurrido esto, se procede a comprobar si el movimiento es válido o no. En caso afirmativo, la nueva posición de la ficha será la del hueco, sin embargo, si no lo es, la ficha volverá a su posición inicial a excepción de que el usuario siga agarrándola, en cuyo caso continuará moviéndose como quiera el paciente hasta que la suelte en un nuevo lugar.
- Cuando el usuario pierde la ficha. No es nada descomunal pensar que al paciente se le pueda caer la ficha mientras está realizando un movimiento, ya sea porque ha dejado de hacer el gesto de manera involuntaria, voluntaria o por un fallo del visor (como que haya dejado de detectar las manos del paciente porque estas se han salido de su rango de visión). En consecuencia, el peg puede caer en una zona donde pueda ser recuperado, como sobre la mesa o sobre el tablero, o en un lugar inalcanzable para el paciente, como el suelo. Si sucede lo primero, el juego no finalizará el

movimiento porque considera que el paciente puede recuperar la ficha sin ningún problema porque está dentro de su alcance, pero si sucede lo segundo, el juego finalizará el movimiento y el peg será devuelto a su posición original. Esto se ha conseguido asignando un ‘Collider’ al suelo, de manera que al ser atravesado por una ficha, activará la función que la devuelve a su origen.

Con la intención de evitar mal funcionamientos del juego, éste se ha programado de tal manera que las fichas que se encuentran en un hueco del tablero no pueden ser desplazadas si no son agarradas, es decir, aunque el usuario las empuje, los pegs se mantendrán en su posición. Si no se hubiera tomado esta medida, las fichas no se mantendrían fijas al entrar con otros ‘Colliders’, de modo que al entrar en contacto con otro objeto, como una mano, estas comenzarían a moverse y podrían, incluso, salir disparadas. También existiría la posibilidad de que, al entrar en contacto en el tablero, los pegs comenzasen a vibrar sin parar, reacción que sería poco realista y que estropea estéticamente el ambiente del usuario dentro del entorno virtual.

Si el usuario consigue finalizar el test dejando una sola ficha en el centro del tablero, aparece un mensaje indicando que ha ganado. De la misma manera, el cronómetro se detendrá mostrando el tiempo que el paciente ha tardado en resolver el nivel.

4.3. Modos de Juego

En el caso concreto de este proyecto, el juego cuenta con siete modos de juego cuya dificultad varía en función del número de fichas que hay en el tablero y de su posición.

- **Standard.** Versión principal del Senku y una de las modalidades más complicadas de este test. Cuenta con 32 fichas.
- **Fireplace.** Versión de dificultad media con 11 fichas colocadas a modo de chimenea.
- **Cross.** Esta es la modalidad más sencilla del test con solamente 6 fichas formando una cruz.
- **Plus.** Este es el otro modo de juego de dificultad baja con 9 fichas.
- **Arrow.** Otra de las versiones de dificultad media del test con 17 fichas dispuestas en forma de flecha.

- **Pyramid.** Este modo es de dificultad media y posee 16 fichas dispuestas en una forma piramidal.
- **Diamond.** Con 24 fichas colocadas en forma de diamante, esta es la otra versión de dificultad alta que posee el juego.

En la Figura 6 se ilustran las siete configuraciones de tablero que se han implementado en el sistema virtual, y que permiten cambiar el nivel de dificultad acorde al nivel cognitivo que se quiera mostrar al paciente.

5. CONCLUSIONES

En este artículo se han presentado los avances en el desarrollo de sistemas de evaluación automáticos enfocados en la evaluación funcional de la extremidad superior utilizando realidad virtual. Se ha presentado una prueba clínica de evaluación funcional y cognitiva, y su versión implementada en RV para abordar su administración automática.

El sistema propuesto permite realizar el test en un entorno inmersivo utilizando las gafas Oculus Quest 2, y se puede interactuar para manipular las fichas por medio de los controladores y también de forma natural con la manos. El entorno virtual permite adaptar fácilmente el nivel de dificultad del test, cambiando la configuración y número de fichas en el tablero. Se han implementado siete configuraciones posibles. Además, para poder entrenar diferentes tipos de pinzado, las fichas tienen forma de esfera o de palo, para requerir un agarre diferente.

El sistema propuesto busca dotar al terapeuta de una herramienta amigable, fácil de configurar y adaptar a las necesidades de los pacientes, y que permita digitalizar de forma automática los resultados del tratamiento.

Agradecimientos

The research leading to these results has received funding from the the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness as part of the project: ROBOASSET: Intelligent robotic systems for assessment and rehabilitation in upper limb therapies” (PID2020-113508RB-I00), funded by AEI/10.13039/501100011033, and from the RoboCity2030-III-CM project (S2013/MIT-2748) which is supported in part by Programas de Actividades I+D en la Comunidad de Madrid, and in part by Structural Funds of the EU.

Esta publicación también es parte del proyecto de I+D+i PLEC2021-007819 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea ”NextGenerationEU/PRTR

English summary

SOLITARIO-PEG-VR: VIDEO GAME FOR EVALUATION OF MANUAL SKILLS WITH NATURAL INTERACTION IN AN IMMERSIVE ENVIRONMENT

Abstract

Currently, functional evaluation procedures are characterized by being laborious, with little digitization of results, and reduced adaptability to the particular needs of patients. In this article, a novel line of research is presented focused on the automation of clinical scales for functional evaluation of the upper extremity using “serious games” and virtual reality (VR). The automation process using VR of the “Peg Solitaire” widely used to measure the level of manual dexterity during neurorehabilitation is described. An Oculus Quest 2 headset is used to present the virtual environment to the user, which allows interaction through the controllers and in a natural way with the gesture recognition system.

Keywords: Serious games, Manual dexterity, Rehabilitation.

Referencias

- [1] S. Cho, W.-S. Kim, N.-J. Paik, and H. Bang. Upper-limb function assessment using vbbs for stroke patients. *IEEE computer graphics and applications*, 36(1):70–78, 2016.
- [2] S. N. Gieser, C. Gentry, J. LePage, and F. Makedon. Comparing objective and subjective metrics between physical and virtual tasks. In *International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality*, pages 3–13. Springer, 2016.
- [3] C.-P. Hsiao, C. Zhao, and E. Y.-L. Do. The digital box and block test automating traditional post-stroke rehabilitation assessment. In *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2013 IEEE International Conference on*, pages 360–363. IEEE, 2013.

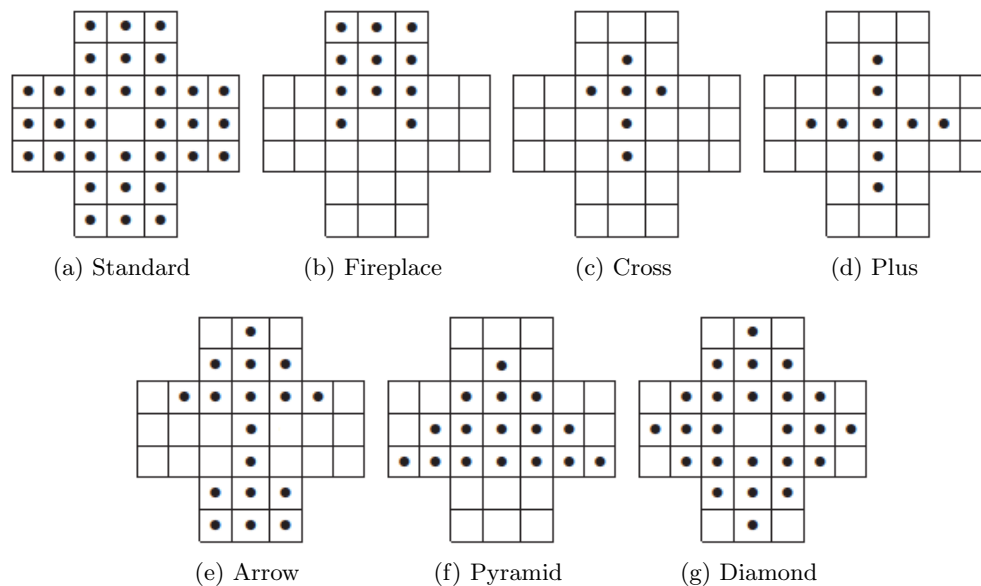


Figura 6: Configuraciones de tablero para en sistema virtual

- [4] T. K. Lee, K. Leo, S. Sanei, and E. Chew. Automated scoring of rehabilitative tests with singular spectrum analysis. In *Signal Processing Conference (EUSIPCO), 2015 23rd European*, pages 2571–2575. IEEE, 2015.
- [5] E. D. Oña, R. Cano de la Cuerda, P. Sánchez-Herrera, C. Balaguer, and A. Jardón. A review of robotics in neurorehabilitation: Towards an automated process for upper limb. *Journal of Healthcare Engineering*, 2018 (Article ID 9758939):1–19, 2018.
- [6] E. D. Oña, J. A. García, W. Raffe, A. Jardón, and C. Balaguer. Assessment of manual dexterity in vr: Towards a fully automated version of the box and blocks test. In *Digital Health: Changing the Way Healthcare is Conceptualised and Delivered*, pages 57–62. IOS Press, 2019.
- [7] P. Otten, J. Kim, and S. H. Son. A framework to automate assessment of upper-limb motor function impairment: A feasibility study. *Sensors*, 15(8):20097, 2015. ISSN 1424-8220.
- [8] K. Salter, N. Campbell, M. Richardson, et al. Outcome measures in stroke rehabilitation. In *Evidence-Based Review of Stroke Rehabilitation*. Heart and Stroke Foundation. Canadian Partnership for Stroke Recovery, 2013.
- [9] E. Wade, A. R. Parnandi, and M. J. Mataric. Automated administration of the wolf motor function test for post-stroke assessment. In *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2010 4th International Conference on-NO PERMISSIONS*, pages 1–7. IEEE, 2010.
- [10] J. Wang, L. Yu, J. Wang, L. Guo, X. Gu, and Q. Fang. Automated fugal-meyer assessment using svr model. In *Bioelectronics and Bioinformatics (ISBB), 2014 IEEE International Symposium on*, pages 1–4. IEEE, 2014.
- [11] World Health Organization. *International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF)*. WHO, 2002. URL <http://www.who.int/classifications/icf/en/>. [Online] (Accessed October 2017).



© 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC-BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>).