

Índice de desempeño para tareas de atención sostenida

M. Francisco-Vicencio¹, D. Martínez-Peon^{2*}, X. A. Ortiz-Jiménez^{3,4}, J. F. Góngora-Rivera^{4,5,6}

¹Departamento de Ingeniería Biomédica, Hospital Universitario Dr. José Eleuterio González, Monterrey, México

²Departamento de Eléctrica/Electrónica, Tecnológico Nacional de México / IT Nuevo León, Guadalupe, México

³Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México

⁴Unidad de Neuromodulación y Plasticidad Cerebral, CIDICS, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México

⁵Facultad de Medicina y Departamento de Neurología del Hospital Dr. José Eleuterio Gonzales, Monterrey, México.

⁶Instituto de Neurología y Neurocirugía del Hospital Zambrano Hellion, TEC, San Pedro Garza García, México.

*dulce.mp@nuevoleon.tecnm.mx

Abstract— Through this work, we explore the idea of a translational attentional index that can be utilized in cognitive evaluation practice as well as in other areas in the biomedical space. With the increase of virtual assistants developed for in-house rehabilitation session monitoring – such as wearables and computer vision (CV) based AI assistants –, the standardization of an index based on behavioral indicators is imperative to give them the ability to monitor the users' engagement level in the given task to procure a safety and effective execution. We begin by exploring the indicators of attention obtained from a Continuous Performance Test (CPT) – a standardized tool utilized in cognitive evaluation – where we detect shortcomings that cannot be translated to daily life scenarios where this index is intended to be used. We propose then an index that is computed based on common indicators that can be found in daily tasks (Correct Responses and Reaction Times) by weighting their contributions equally and bidirectionally penalizing variability on responses recorded. We close with presenting the information the new index can group from common indicators and that can be easily interpreted in a quick sight by different professionals in the biomedical space compared with the typical analysis of attentional levels obtained from a CPT.

Palabras clave—Atención sostenida, Continuos Performance Test (CPT), Índice de desempeño de atención sostenida.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de interfaces cerebro-computador (BCI) y ponibles (*wearables*) – dentro del área de rehabilitación física – se han visto ampliamente beneficiados del desarrollo de modelos de aprendizaje automático en ruta hacia una atención sumamente personalizada. El uso de sistemas de inteligencia artificial (IA) permite evaluar el cumplimiento de las rutinas mediante la lectura de diversos sensores de movimiento y de actividad bioeléctrica, sin embargo, aún es necesario medir el nivel de atención que presta el usuario a la rutina de ejercicios para que la realización de esta sea segura y efectiva, [1,2].

Para medir el nivel de atención, la comunidad de psicólogos ha desarrollado (durante el último siglo) diversas tareas cognitivas, las cuales consisten en la presentación de estímulos a los cuales el usuario debe proporcionar una

respuesta específica. En conjunto, estas tareas reciben el nombre de Tareas de Desempeño Continuo (CPT), [3].

En la literatura neuropsicológica, encontramos que uno de los modelos más adecuados para la evaluación de la atención sobre largos periodos de tiempo es la variante CPT-AX, [4], en la cual los estímulos (visuales/auditivos) son un conjunto de letras, de entre las que se encuentran la A y la X. El objetivo de la tarea es que el usuario proporcione 3 respuestas dependiendo de si se presenta un estímulo objetivo u otro aleatorio, [5]. Mediante esta tarea, el investigador captura la cantidad de respuestas correctas (CR), errores de omisión, falsas alarmas (FA) y tiempos de reacción (RT). Las medidas que se obtienen son la variabilidad en las CR (CRSD desviación estándar de CR) y en RT (RTSD desviación estándar de RT), tendencias de ejecución de CR y de RT, la sensibilidad perceptual (d') y los cambios de estrategia para propiciar una respuesta (criterion), [6].

En particular, las mediciones d' y criterion han sido utilizados para describir la atención sostenida en el CPT, [6,7]. Sin embargo, estas medidas son aplicables en entornos controlados y en los que se cuenta con una señal de alerta a un estímulo objetivo. En escenarios de la vida cotidiana como rutinas de rehabilitación física o incluso al conducir un vehículo, las alarmas no forman parte de la tarea a resolver. Durante una sesión de rehabilitación física, los estímulos son las instrucciones de la rutina como: “levante sus brazos a la altura de sus hombros” o “gire la muñeca”, mientras que al conducir los estímulos son las variaciones en el camino como, inclinaciones de la carretera o baches a esquivar. En ambos escenarios nos encontramos con la ausencia de alarmas a próximos estímulos, otros que el mismo estímulo, por lo que no es posible calcular los valores de d' y criterion. Sin embargo, aún es posible obtener los indicadores base que permiten medir la atención que el participante presta a los estímulos.

Para propiciar el adecuado desarrollo de dispositivos de asistencia en rehabilitación física que consideren el nivel de atención como indicador de la eficiencia y seguridad en la ejecución rutina, proponemos un índice que sea trasladable entre tareas cognitivas y físicas haciendo uso de medidas estandarizadas, que sea fácil de

interpretar por la comunidad biomédica y que entregue valores normalizados para el desarrollo de sistemas de monitoreo basados en IA.

II. METODOLOGÍA

A. Sujetos

En este estudio un total de 30 sujetos sanos entre 21 y 30 años participaron de forma voluntaria. Se pidió a los sujetos que en la noche anterior al estudio realizaran un descanso de 8 horas mínimo, que no tomaran bebidas con cafeína o alcohol. Se siguió el protocolo de Helsinki, los sujetos firmaron una hoja de consentimiento para participar y fueron informados del procedimiento.

B. CPT-AX

Se empleó la Tarea de Desempeño Continuo (CPT-AX por sus siglas en inglés *Continuous Performance Task*) en la que se mostraron en una pantalla con fondo gris (RGB= [128,128,128]) estímulos conformados por las letras del alfabeto mostradas en color negro (RGB= [0,0,0]) con un tamaño de letra equivalente al 4° del campo visual y con una duración de 100ms como se muestra en la Fig. 1. Un total de 320 estímulos con un tiempo entre estímulos de 1500ms resulta en una tarea de 8 min.

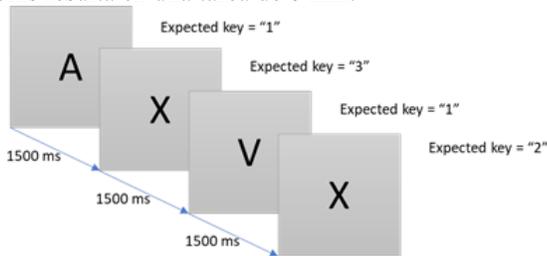


Fig. 1. Ejemplo de la secuencia de estímulos que los sujetos ven durante la Tarea de Desempeño Continuo. En la parte superior derecha de cada estímulo se muestra la respuesta correcta esperada. Los tiempos en las flechas indican el tiempo entre cada uno de los estímulos.

Las instrucciones que se les proporcionó a los participantes fue que presionarían la tecla con el no. “1” cuando apareciera cualquier letra diferente a “X”, que presionarían la tecla con el no. “2” cuando apareciera la letra “X” y que presionarían la tecla con el no. “3” cuando la letra “X” apareciera inmediatamente después de la letra “A”.

C. Índice de atención traslacional

Desarrollamos un índice de atención a partir de las principales medidas estandarizadas para evaluar la atención por largos periodos de tiempo, la media de CR y de los RT. La media de CR ha sido utilizada anteriormente como un indicador del rendimiento general de un participante; se espera que una persona que mantenga su nivel de atención al máximo durante la ejecución de la tarea tenga un 100% de CR. En cuanto a los RT, se espera que conforme avance el usuario en la tarea, estos aumenten, ya que RT largos han sido ligados a una decaída en el nivel atencional. Para que una respuesta sea considerada como válida, el RT deberá ser mayor a 300 ms (Min_RT), pues este es el tiempo requerido para orientar nuestra atención, percibir, procesar y expresar

una respuesta a un estímulo; y no mayor a un máximo permitido (Max_RT=1500 ms).

Definimos el índice de atención normalizado (I_{att}) como el producto de los RTs normalizados (nRT) y el porcentaje normalizado de aciertos en la ejecución de la tarea dada (nCR):

$$I_{att} = (nRT)(nCR) \quad (1)$$

donde

$$nRT(mRT) = 1 - \frac{mRT - \text{Min_RT}}{\text{Max_RT} - \text{Min_RT}} \quad (2)$$

Los desempeños que obtendrán un índice de atención más cercano a 1 serán aquellos que hayan respondido rápida y correctamente. Si se responde correctamente, pero la respuesta es lenta, el índice de atención será menor a 1, igualmente, si se responde de manera rápida pero la cantidad de respuestas correctas es baja, el índice de atención será menor a 1.

Para capturar la variabilidad en las respuestas y reflejar su impacto en el índice de atención, proponemos una función de penalización (p). Esta función permite capturar el aporte en el nivel de atención que presta el participante al ejecutar correctamente la tarea consignada o responder a los estímulos. La función p está definida de la siguiente manera:

$$p(CR) = \text{sign}(tCR) * CRSD \quad (3)$$

$$p(RT) = -\text{sign}(tRT) * RTSD \quad (4)$$

donde tCR y tRT son los valores de tendencia de ejecución de la tarea y la función sign captura el sentido de la pendiente, de tal manera que el índice de atención penalizado (I_{ap}) está dado por la ecuación (5).

$$I_{ap} = pCR * pRT \quad (5)$$

donde $pCR = nCR + p(CR)$ y $pRT = nRT / (RT + p(RT))$. Con esta función, se detecta si la variabilidad fue debido a incrementos o a decrementos en la asertividad de las respuestas, de tal manera que una variación con una tendencia positiva en CRs, mejorará el valor final del índice de atención puesto que esta tendencia indica una mejora en el nivel de atención del participante. De manera contraria, una tendencia positiva en los RTs se verá reflejado en una disminución del índice de atención penalizado, pues esta es indicativa de que el usuario no está comprometido con la tarea (ej. puede estar distraído), por lo que proporcionar una respuesta a esta le tomaría más tiempo.

III. RESULTADOS

A. Resultados de CPT

Para representar de manera gráfica el resumen de indicadores de una CPT, generamos las gráficas comúnmente usadas en la Fig. 2 [1-4]. Los valores promedio para la muestra de participantes han sido divididos en cuartos, de tal manera que permite ver la dinámica del desempeño a través de la tarea (Fig.2 a) y c) y la variabilidad que existe durante la misma en cuanto a CR y RT (Fig.2 b) y d) respectivamente). Encontramos un $93.06 \pm 22.91\%$ de CR, RT medios de 577 ± 178 ms y tendencias de ejecución negativas, -1×10^{-4} (CR) y -3×10^{-4} (RT).

B. Índice de atención

La Fig. 3 muestra la dispersión con los índices de atención calculados para cada uno de los 30 participantes con el mapa de colores del índice de atención de fondo. El índice graficado fue calculado a partir de los indicadores generales (de toda la tarea) obtenidos del CPT (Fig. 2).

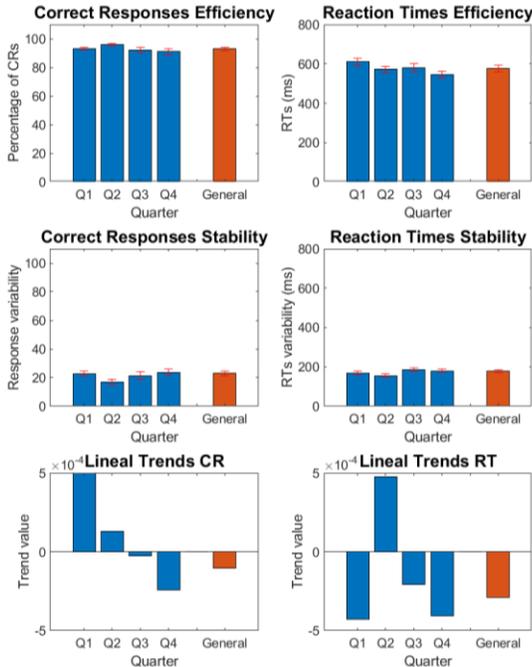


Fig. 2. Indicadores obtenidos de la CPT-AX. Los indicadores son calculados para la muestra completa de 30 participantes. La tarea es dividida en cuartos y en las primeras gráficas (a-d) las barras azules representan la media del indicador en cada uno de los cuartos, mientras que la barra naranja representa la media general de la tarea completa. Todas las barras vienen acompañadas de una gráfica de error estándar en color rojo.

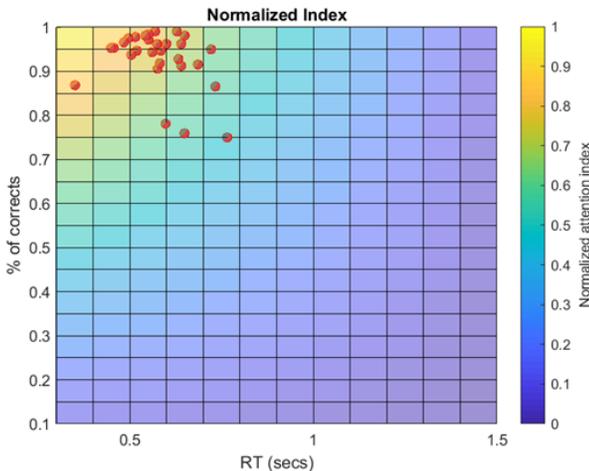


Fig. 3. Dispersión de los índices de atención calculados para los 30 participantes (puntos rojos). De fondo se muestra el índice de atención esperado de acuerdo con la posición de los puntos en la gráfica.

Para contrastar la diferencia entre los índices calculados con la función penalizada, en la Fig. 4 a) se

muestran en amarillos los índices penalizados y en rojo los valores base. Puesto que, los índices penalizados y no penalizados tienen las mismas coordenadas (CR, RT), los índices con mayor magnitud se superponen a sus pares. De esta manera los puntos amarillos muestran aquellos índices que se vieron beneficiados por la penalización (ej. tendencias de incremento en CR y de disminución en RT).

Para mostrar el valor final de los índices calculados, la Fig. 4 b) se liga el color del círculo al del índice obtenido y se contrasta con las líneas en colores que representan el valor base (sin penalización). Esto permite ver como el punto más a la izquierda tiene un índice igual a 1, mientras que el valor esperado era .85.

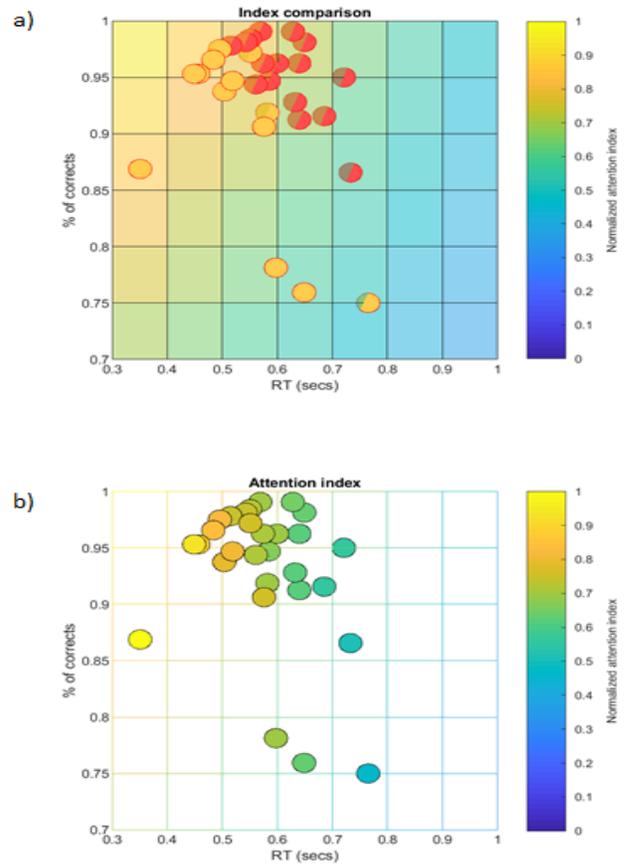


Fig. 4. Comparación de los índices de atención penalizados (en amarillo) contra los de tendencia central (en rojo) y valores finales de los índices penalizados. El gráfico (a) muestra que la mayoría de los participantes obtienen un índice de atención penalizado menor al de tendencia central puesto que los puntos rojos se superponen a los amarillos. El segundo gráfico (b) muestra el valor central esperado (colores de la malla) y el valor penalizado (color del punto).

IV. DISCUSIÓN

En los resultados del CPT (Fig. 2) se aprecia que hubo un buen desempeño de los participantes al responder a la tarea. Observamos también cómo al dividir los resultados en cuartos es posible analizar la dinámica que hubo en las respuestas durante la tarea, [6]. De manera similar, podemos

encontrar como la distribución del índice de atención para cada uno de los participantes se encuentra concentrada en la región de mayor nivel de atención en la Fig. 2 (esquina superior izquierda), lo que permite apreciar la individualidad y al mismo tiempo la generalidad en el desempeño del grupo al contestar la CPT.

Puesto que el propósito de este trabajo es proponer un índice de atención que sea traslacional principalmente entre los campos de rehabilitación cognitiva y física a partir de medidas estandarizadas en el campo de neuropsicología comenzamos explorando los indicadores utilizados en CPTs para evaluar la atención sostenida. Encontramos 8 indicadores a calcular para evaluar de manera objetiva esta habilidad, sin embargo, los 2 más representativos requieren de configuraciones controladas del entorno para ser observables y son escasas en tareas de la vida cotidiana por lo que nos enfocamos en las principales medidas de desempeño (RT y CR) para generar un índice trasladable a escenarios de la vida diaria.

Propusimos un índice de atención normalizado que ponderará de manera equitativa estas principales mediciones, denominándolo así, ya que para calcularlo se propone normalizar los RT capturados entre los valores máximos y mínimos permisibles; y el porcentaje de CR. Para capturar la variabilidad en las respuestas con el índice presentado (elemento clave para evaluar el nivel de atención por largos periodos de tiempo), integramos una función de penalización. Mediante esta función, el valor final del índice mejora o disminuye dependiendo de las tendencias de ejecución registradas tanto para las CR como para los RT. De esta manera, el *Iap* captura objetivamente la relación que existe entre las habilidades para responder correctamente y la concentración que se tiene sobre la tarea designada.

A pesar de no utilizar directamente criterios de la teoría de señales, el índice propuesto es capaz de capturar las fluctuaciones del estado de atención al considerar también la variabilidad y tendencias de ejecución en CR y RT. Además, el hecho de que el índice sea compacto y que se calcule con funciones básicas, permite su fácil integración a asistentes inteligentes para la rehabilitación física como ponibles (IoMT) o de visión por computadora (CV), brindándoles una herramienta clave para monitorear la ejecución eficaz y segura.

V. CONCLUSIONES

Encontramos que el método presentado en este trabajo permite evaluar de manera objetiva el nivel de atención que una persona presta a resolver una tarea por largos periodos de tiempo de manera equivalente a las medidas estandarizadas en la evaluación cognitiva. Más allá de generar un índice normalizado, proponemos una herramienta que permita evaluar de manera visual e intuitiva el nivel de atención de los participantes al responder una

tarea física o cognitiva, que permita visualizar la individualidad y generalidad en el desempeño del grupo; y que sea fácil de interpretar entre las distintas ramas de la comunidad biomédica como la ingeniería, la medicina y la neuropsicología. Estamos seguros de que su debida implementación abre paso al desarrollo de asistentes virtuales de rehabilitación informados sobre el nivel de atención y dedicación que el usuario presta al desarrollo de las actividades. Confiamos en que este índice permitirá expandir el paradigma de optimización y cambios de estrategia en sesiones de rehabilitación para procurar la eficiencia y seguridad máxima en la realización de las tareas de cada una de las sesiones.

RECONOCIMIENTO

Agradecemos al Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud (CIDICS) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) por el apoyo para llevar a cabo los experimentos.

REFERENCIAS

- [1] Bohr A, Memarzadeh K. The rise of artificial intelligence in healthcare applications. *Artificial Intelligence in Healthcare*. 2020;25-60. doi:10.1016/B978-0-12-818438-7.00002-2
- [2] Min Wu, P. D. and J. L. (2021, April 2). *Wearable Technology Applications in Healthcare: A Literature Review*. HIMSS. <https://www.himss.org/resources/wearable-technology-applications-healthcare-literature-review>.
- [3] Beck Lh, Bransome Ed Jr, Mirsky Af, Rosvold He, Sarason I. A Continuous Performance Test of Brain Damage. *J Consult Psychol*. 1956; 20(5):343-350. doi: 10.1037/h0043220. PMID: 13367264.
- [4] Posner, M. I., & Rafal, R. D. (1987). Cognitive theories of attention and the rehabilitation of attentional deficits. In M. J. Meier, A. L. Benton, & L. Diller (Eds.), *Neuropsychological rehabilitation* (pp. 182–201). The Guilford Press.
- [5] H.G.O.M Smid, M.R. de Witte, I. Homminga & R.J. van den Bosch (2006) Sustained and Transient Attention in the Continuous Performance Task, *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28:6, 859-883, DOI: [10.1080/13803390591001025](https://doi.org/10.1080/13803390591001025)
- [6] Smith KJ, Valentino DA, Arruda JE. Measures of variations in performance during a sustained attention task. *J Clin Exp Neuropsychol*. 2002 Sep;24(6):828-39. doi: 10.1076/jcen.24.6.828.8394. PMID: 12424656.
- [7] Huang-Pollock CL, Karalunas SL, Tam H, Moore AN. Evaluating vigilance deficits in ADHD: a meta-analysis of CPT performance. *J Abnorm Psychol*. 2012 May;121(2):360-71. doi: 10.1037/a0027205.
- [8] Fortenbaugh FC, Rothlein D, McGlinchey R, DeGutis J, Esterman M. Tracking behavioral and neural fluctuations during sustained attention: A robust replication and extension. *Neuroimage*. 2018 May 1;171:148-164. doi: 10.1016/j.neuroimage.2018.01.002.
- [9] Huang-Pollock CL, Karalunas SL, Tam H, Moore AN. Evaluating vigilance deficits in ADHD: a meta-analysis of CPT performance. *J Abnorm Psychol*. 2012 May;121(2):360-71. doi: 10.1037/a0027205. Epub 2012 Mar 19. Erratum in: *J Abnorm Psychol*. 2012 May;121(2):423. PMID: 22428793; PMCID: PMC3664643.
- [10] Hunt C, Paez A, Folmar E. The Impact Of Attentional Focus On The Treatment Of Musculoskeletal And Movement Disorders. *Int J Sports Phys Ther*. 2017;12(6):901-907.
- [11] Tenenbaum JD. Translational Bioinformatics: Past, Present, and Future. *Genomics Proteomics Bioinformatics*. 2016;14(1):31-41. doi:10.1016/j.gpb.2016.01.003