

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

REPORTE DE EVALUACIÓN DE INFORME TECNICO

Fondo:	S0008- FONSEC SSA/IMSS/ISSSTE
Solicitud:	000000000070074- SISTEMA DE BAJO COSTO PARA REH
Etapas:	001
Título:	SISTEMA DE BAJO COSTO PARA REHABILITACIÓN DE EXTREMIDADES SUPERIORES DESPUÉS DE UNA ENFERMEDAD VASCULAR CEREBRAL
Usuario:	X_Isucar2629
Nombre:	SUCAR SUCCAR LUIS ENRIQUE
formato:	SC_GPOITECF1- INFORME TECNICO FINAL
Fecha:	12 de diciembre de 2011
Estado del Documento:	Finalizado
Sección:	SC_SEC13
Pregunta:	Capture aquí el resumen de este informe
Respuesta:	<p>El proyecto contemplaba 3 objetivos principales: a) Desarrollo de un sistema de bajo costo de terapia por gestos b) Estudio clínico controlado para evaluar la efectividad del sistema c) Análisis de la reorganización del sistema motor mediante fMRI En los tres aspectos se han logrado los objetivos planteados, e incluso superado, estos se detallan a continuación. a) Desarrollo del sistema de terapia por gestos Se desarrolló un sistema de terapia por gestos orientado a ayudar a la rehabilitación de pacientes que han sufrido una enfermedad vascular cerebral, en particular en el movimiento de las extremidades superiores. Dicho sistema incluye una serie de actividades en un ambiente de realidad virtual orientadas a rehabilitación; y un sistema de seguimiento visual que mediante una cámara sigue el movimiento de la mano del paciente, obtiene sus coordenadas en 3 dimensiones, y le permite interactuar con el ambiente virtual para llevar a cabo la terapia. El sistema utiliza una sola cámara para hacer el seguimiento, lo que facilita el que eventualmente pueda usar utilizado por el paciente en su hogar. Dos prototipos del sistema se encuentran ya en operación para realizar pruebas clínicas, uno en el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía en México DF, y otro en el Instituto de Rehabilitación de Chicago (RIC) en Chicago, EUA (a través de un convenio de colaboración con RIC). Cabe destacar que se colaboró con el RIC en este proyecto, el cuál es uno de los centros de investigación en rehabilitación más reconocidos en EUA y en el Mundo. Un prototipo del sistema desarrollado fue evaluado por terapeutas de RIC. b) Estudio clínico controlado Se realizaron dos estudios clínicos controlados en el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía (INNN) del sistema de terapia por gestos. En general los estudios clínicos realizados demuestran que el sistema de terapia por gestos es efectivo como terapia de rehabilitación para las extremidades superiores, con un impacto comparable al de la terapia tradicional, y con una mayor motivación por los pacientes. Una ventaja a futuro es que el sistema lo puedan usar los pacientes en casa sin necesidad de la presencia de un terapeuta. En términos del análisis de las actividades en casa de los pacientes mediante la utilización de actígrafos los resultados mostraron una correlación significativa ($r=0.7$) entre los datos de acelerometría y las escalas clínicas para medir la recuperación de la función motora de los pacientes. Si bien resulta promisorio su contribución positiva al manejo clínico de los pacientes, queda por determinar si un perfil de actividad más completo proporcionado por los acelerómetros puede ser clínicamente útil. En paralelo, se cuantificó el incremento/decremento en el uso del brazo afectado con respecto a su uso previo a la terapia. Si bien la evaluación a nivel individual arrojó resultados muy dispares, se demostró a nivel individual que es posible cuantificar la preferencia otorgada a la mano afectada por los pacientes partiendo de los datos de acelerometría dentro de los límites de la precisión del muestro. c) Análisis mediante fMRI Encuadrado dentro del segundo estudio clínico, cuatro neuroimágenes de resonancia magnética funcional fueron tomadas de forma longitudinal durante la administración de la terapia de gestos a una subcohorte de 8 pacientes. Las mejoras en su destreza motriz fueron monitoreadas mediante las escalas validadas de Fugl-Meyer e Índice de Motricidad. Las estrategias de reorganización funcional fueron evaluadas de forma cuantitativa y cualitativa. La cuantificación se logró mediante el conteo de los lugares activos en las regiones cerebrales asociadas a las diferentes estrategias. Hasta donde sabemos, esta es la primera vez que se reportan los cambios plásticos inducidos por una terapia de rehabilitación basada en realidad virtual con toma de muestras en momentos intermedios de la terapia, lo que permite caracterización de las estrategias de reorganización funcional asociadas a la TG más detallada de lo que se existía hasta ahora. Una vez cuantificadas las estrategias de reorganización funcional caracterizamos dicha reorganización cortical como un manifold 10 dimensional. El manifold captura donde se reubica la función cerebral así como la fuerza de esta actividad. La visualización de este manifold en baja dimensionalidad permite revelar las estrategias más relevantes y su</p>

	<p>progresión a medida que avanza la administración de la terapia. Además, una vez construido el manifold es posible cuantificar otros tres fenómenos neurológicos ¿ progresión, abandono de estrategias compensatorias, estas a nivel sujeto, y convergencia/divergencia a nivel cohorte-. Se han propuesto métricas para cuantificar estos fenómenos, y así revelar aspectos de los cambios plásticos inducidos por la terapia tanto a nivel de sujeto como de cohorte.</p>
observaciones:	
Pregunta:	Cuantitativamente, señale cuáles fueron los productos generados (Libros, Capítulos de Libro, Artículos, Tesis, etc.).
Respuesta:	<p>Se han generado las siguientes publicaciones en diversos foros internacionales y nacionales en base a los resultados del proyecto. Publicados: L.E. Súcar, G. Azcárate, R. Leder, D. Reinkensmeyer, J. Hernández, I. Sánchez, P. Saucedo, ``Gesture Therapy: A vision--based system for arm rehabilitation after stroke", in A. Fred, J. Filipe, H. Gamboa (Eds.) Biomedical Engineering Systems and Technology, Springer--Verlag, pp. 531--540, 2008. J. Gutierrez, M. Saldaña, "Neural Network-Based Image-to-Motor modeling", IX Simposio Mexicano de Cirugía Asistida por Computadora y Procesamiento de Imágenes (MEXCAS), pp. 35-41, septiembre 4-5, 2008. http://labrp.cic.ipn.mx/~mexcas08/ R. Leder, et al., "Nintendo Wii Remote for Computer Simulated Arm and Wrist Therapy in Stroke Survivors with Upper Extremity Hemiparesis", Virtual Rehabilitation 2008, Vancouver, Canada, IEEE 978-1-4244-2701-7/08. M. Negrete, M. Matamoros, J. Olivares, R. Leder, R. "Nintendo Wii Remote como un subsistema inalámbrico para adquisición digital de datos de señales fisiológicas relevantes en la terapia física". Pan American Health Care Exchange, (PAHCE) 16-20 Mar-09, Mexico, D.F. IEEE 978-1-4244-3669-9 J. Gutierrez, L. E. Súcar, R. Leder, J. Hernández, R. Carrillo, R. Reséndiz, I. Sánchez, "Functional evaluation of computer game-based upper-extremity rehabilitation effects after stroke". Proceedings of the Pan American Health Care Exchanges (PAHCE), Marzo 16-20, 2009. pp. 1, IEEE 978-1-4244-3669-9 L. E. Súcar, R. Leder, J. Hernández, I. Sánchez, A. Molina, "Geture Therapy: a Clinical Evaluation", Proceedings of the 3rd International Conference on Pervasive Technologies for Health Care, ICST, Londres, GB, 2009. L. Enrique Súcar, Ron Leder, Jorge Hernández, Israel Sánchez, y Gildardo Azcárate, "Clinical Evaluation of a Low--Cost Alternative for Stroke Rehabilitation", IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), Japón, pp. 863-866, 2009 J.A. Gutiérrez, R. Carrillo, J. Hernández, A. Hawager, R. Leder. L.E. Súcar, "fMRI-based inverse analysis of stroke patient's motor functions", Mexican Symposium on Computer--Assisted Surgery and Medical Imaging (MEXCAS), INNN, Mexico City, Mexico, September 2009. J. Gutierrez, R. Carrillo, R. Reséndiz, J. Hernández, R. Leder, L. E. Súcar, I. Sánchez, "Modelado de la Correspondencia entre Imágenes de Resonancia Magnética y Funciones Motoras después de Evento Vascular Cerebral". Resumen extendido. XXIV Reunión Anual de Investigación del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía, 21-22 de Mayo, Ciudad de México, D.F., 2009: http://www.innn.salud.gob.mx/interior/investigacion/reunio_anual.html. Matamoros, M., Negrete, M. and Leder, R.S. Nintendo WII remote and Nunchuck as a wireless data subsystem for digital acquisition of analog physiologic data relevant to motor rehabilitation after stroke; poster. Virtual Rehabilitation 2009, Haifa, Israel. Leder, R., "Actigraphy in Clinical Management of Stroke", Oral presentation; National Association of Rehabilitation Research Training Centers Conference, (NARRTC-NIDRR) 4-5 Mayo, 2009, Washington D.C. Matamoros, M., Negrete, M. and Leder, R.S., "Nintendo WII remote and Nunchuck as a wireless data subsystem for digital acquisition of analog physiologic data relevant to motor rehabilitation after stroke". PAHCE, Lima, Peru, Marzo 2010 R. Leder, "Use of long term continuous limb activity recording to supplement clinic visits in the objective evaluation of compliance and the level of recovery of stroke survivors", First AMA-IEEE Conference on Medical Technology, Marzo 21-23, Washington DC, EUA., 2010 F Mispalma, C. Monroy, R. Leder, "Feasibility of deploying a medical information service in Mexico delivered via cell phone", First AMA-IEEE Conference on Medical Technology, Marzo 21-23, Washington DC, EUA. L.E. Súcar, R. Luis, R. Leder, J. Hernández, I. Sánchez, "Gesture Therapy: a vision-based system for upper extremity stroke rehabilitation", IEEE EMBS, pp. 3690--3693, 2010. Aceptados: F. Orihuela-Espina, I. Fernández del Castillo, L. Palafox, E. Pasaye, I. Sánchez Villavicencio, R. Leder, J. Hernández Franco, L. E. Súcar "Estrategias de reorganización funcional asociados a la terapia de rehabilitación por gestos: Un estudio longitudinal" Aceptado en XIII Taller de Neuroimagen, 2011, CIMAT, Guanajuato, Mexico Enviados: F. Orihuela-Espina, I. Fernández del Castillo, L. Palafox, E. Pasaye, I. Sánchez Villavicencio, R. Leder, J. Hernández Franco, L. E. Súcar " Functional reorganization strategies accompanying motor rehabilitation with Gesture Therapy: a longitudinal study" Enviado a Stroke F. Orihuela-Espina, J. Hernández Franco, L. E. Súcar "Modelling the dynamics of functional reorganization following stroke: A manifold embedding approach" Enviado a Workshop on Machine Learning and Inference in Neuroimaging (MLIN) in Neural Information Processing Systems (NIPS 2011) Conferencias invitadas: L. E. Súcar, "Terapia por gestos: integrando realidad virtual y visión computacional para la rehabilitación de extremidades superiores", Conferencia invitada en Jornadas del X Aniversario Unidad Tizimín, Universidad Autónoma de Yucatán, Marzo de 2010. Reportes técnicos: F. Orihuela-Espina, L.E. Súcar "Functional reorganization strategies associated to motor rehabilitation Gesture Therapy" Reporte Técnico No. CCC-11-001, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica Formación de recursos humanos: Cuatro estudiantes han sido apoyados con becas del proyecto, uno de maestría y tres de licenciatura. Uno de ellos ha obtenido el grado de maestría en el INAOE, dos de licenciatura en la UNAM y uno de especialidad en el INNN Estudiantes que han obtenido el grado: - M.C. Josué Sánchez Taxis, Maestría en Ciencia Computacionales, INAOE - Norma Saiph Savage, Licenciatura, UNAM - Mauricio Matamoros de Ma. y Campos, Licenciatura UNAM - Lorena Palafox Ramírez, estudiante de especialidad, INNN Además, vinculados al proyecto pero sin recibir beca se graduaron otro alumno de maestría y dos más de licenciatura: - M.C. Fernando Mispalma León, Maestría en Ciencia Computacionales, UNAM - Diana Contreras, licenciatura, Universidad</p>

	Iberoamericana - Oscar Pilloni Choreño, licenciatura, UNAM (se espera complete su grado en breve).
observaciones:	
Pregunta:	Indique si se dio cumplimiento a los objetivos, metas y/o productos comprometidos (Fundamente/Justifique)
Respuesta:	Se han alcanzado, e incluso superado, las metas planteadas para el proyecto. Las metas planteadas fueron las siguientes: 1) Mejoras al sistema de terapia por gestos 2) Validar el impacto clínico del sistema 3) Analizar áreas motoras mediante análisis de fMRI 1) Mejoras al sistema de terapia por gestos: Se han incorporado varias mejoras al sistema de terapia con gestos (GT), incluyendo: (i) la incorporación de un sensor de presión, (ii) la integración de otras actividades simuladas de la vida diaria, (iii) la detección del movimiento de la cara del paciente para evitar la compensación. Con esto se concluyó un prototipo del sistema que ha sido evaluado en dos pruebas clínicas y está en proceso de patentamiento y transferencia tecnológica. 2) Validar el impacto clínico del sistema: Se realizaron dos estudios clínicos controlados del sistema GT en el INNN, uno en que se evaluaron solamente los aspectos clínicos y motivacionales; y otro más completo en el que además se analizaron los efectos en actividad cerebral mediante fMRI, y el impacto en actividades de la vida diaria mediante actígrafos. Los estudios demuestran que el sistema GT tiene un impacto clínico al menos tan bueno como el de la terapia tradicional y logra una mayor motivación de los pacientes. Los estudios con fMRI y actígrafos muestran resultados interesantes que se detallan en otras secciones de este reporte y en las diversas publicaciones generadas. 3) Analizar áreas motoras mediante análisis de fMRI: Se han cuantificado las estrategias de reorganización de la función cortical asociadas a la administración de la terapia de gestos. Se encontró una fuerte correlación entre la destreza motora al inicio de la terapia y la actividad cerebral reclutada ($r^2=0.80$; $p<0.05$). La actividad cerebral alcanza un pico en el segundo escaneo cerebral correspondiente a la 7a sesión terapéutica. Se ha constatado la diferencia en la recuperación cuando las estrategias de reorganización son principalmente corticales en contraste a cuando estas son principalmente subcorticales. De forma interesante hemos observado una inesperada divergencia en el comportamiento cerebral a nivel de cohorte para la que aún carecemos de una explicación.
observaciones:	
Pregunta:	Con base en los productos generados, señale los alcances en: a) Generación del conocimiento, b) Formación de recursos humanos especializados y c) Creación y/o fortalecimiento de grupos de investigación
Respuesta:	a) Generación de conocimiento: un mejor conocimiento del impacto de la realidad virtual en la rehabilitación, así como un primer análisis de los efectos en el cerebro de los pacientes que en el futuro ayudarán a diseñar mejores terapias b) Formación de recursos humanos: formación de médicos e ingenieros, 7 estudiantes formado en diferentes niveles c) Fortalecimiento de grupos de investigación: se han fortalecido los grupos en el INAOE, UNAM e INNN en el área de ingeniería biomédica y rehabilitación, y en particular se ha consolidado la colaboración entre los 3 grupos
observaciones:	
Pregunta:	En términos de impacto, destaque las principales contribuciones de su investigación
Respuesta:	Se desarrolló un sistema de terapia por gestos orientado a ayudar a la rehabilitación de pacientes que han sufrido una enfermedad vascular cerebral, en particular en el movimiento de las extremidades superiores. Dicho sistema incluye una serie de actividades en un ambiente de realidad virtual orientadas a rehabilitación; y un sistema de seguimiento visual que mediante una cámara sigue el movimiento de la mano del paciente, obtiene sus coordenadas en 3 dimensiones, y le permite interactuar con el ambiente virtual para llevar a cabo la terapia. El sistema utiliza una sola cámara para hacer el seguimiento, lo que facilita el que eventualmente pueda usar utilizado por el paciente en su hogar. En general los estudios clínicos realizados demuestran que el sistema de terapia por gestos es efectivo como terapia de rehabilitación para las extremidades superiores, con un impacto comparable al de la terapia tradicional, y con una mayor motivación por los pacientes. Una ventaja a futuro es que el sistema lo puedan usar los pacientes en casa sin necesidad de la presencia de un terapeuta. En términos del análisis de las actividades en casa de los pacientes mediante la utilización de actígrafos los resultados mostraron una correlación significativa ($r=0.7$) entre los datos de acelerometría y las escalas clínicas para medir la recuperación de la función motora de los pacientes. Si bien resulta promisorio su contribución positiva al manejo clínico de los pacientes, queda por determinar si un perfil de actividad más completo proporcionado por los acelerómetros puede ser clínicamente útil. En paralelo, se cuantificó el incremento/decremento en el uso del brazo afectado con respecto a su uso previo a la terapia. Si bien la evaluación a nivel individual arrojó resultados muy dispares, se demostró a nivel individual que es posible cuantificar la preferencia otorgada a la mano afectada por los pacientes partiendo de los datos de acelerometría dentro de los límites de la precisión del muestro. Encuadrado dentro del segundo estudio clínico, cuatro neuroimágenes de resonancia magnética funcional fueron tomadas de forma longitudinal durante la administración de la terapia de gestos a una subcohorte de 8 pacientes. Las mejoras en su destreza motriz fueron monitoreadas mediante las escalas validadas de Fugl-Meyer e Índice de Motricidad. Las estrategias de reorganización funcional fueron evaluadas de forma cuantitativa y cualitativa. La cuantificación se logró mediante el conteo de los lugares activos en las regiones cerebrales asociadas a las diferentes estrategias. Hasta donde sabemos, esta es la primera vez que se reportan los cambios plásticos inducidos por una terapia de rehabilitación basada en realidad virtual con toma de muestras en momentos intermedios de la terapia, lo que permite caracterización de las estrategias de reorganización funcional asociadas a la TG más detallada de

	<p>lo que se existía hasta ahora. Durante el proyecto se desarrollaron diversas ampliaciones y mejoras al sistema: - se diseñó un nuevo "bastón" (gripper) que incorpora un sensor de presión de forma que se puedan incorporar ejercicios de prensión en la rehabilitación - se integró un nuevo conjunto de ejercicios simulados mediante una colaboración con la compañía HOCOMA de Suiza - se incorporó un nuevo programa que detecta el movimiento de la cabeza del paciente para evitar que el paciente haga "compensación" mediante el movimiento de su cuerpo, ayudando a que el ejercicio se realice con el brazo afectado. Dos prototipos del sistema se encuentran ya en operación para realizar pruebas clínicas, uno en el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía en México DF, y otro en el Instituto de Rehabilitación de Chicago (RIC) en Chicago, EUA (a través de un convenio de colaboración con RIC). Cabe destacar que se colaboró con el RIC en este proyecto, el cuál es uno de los centros de investigación en rehabilitación más reconocidos en EUA y en el Mundo. Un prototipo del sistema desarrollado fue evaluado por terapeutas de RIC. Cabe destacar que se han solicitado dos patentes, una del sistema completo y otra de la manija o "gripper". La primera se ha sometido simultáneamente en México, EUA y Canadá: mientras para la segunda se ha sometido una patente internacional bajo el esquema PCT. Se esta en negociaciones para transferir a una compañía el sistema para su futura producción y comercialización.</p>
observaciones:	
Pregunta:	Cuáles argumentos plantearía como sustantivos para integrar su investigación dentro de los CASOS DE ÉXITO.
Respuesta:	<p>Considero que es un CASO DE ÉXITO porque se tienen logros importantes en: a) Generación de conocimiento: un mejor conocimiento del impacto de la realidad virtual en la rehabilitación, así como un primer análisis de los efectos en el cerebro de los pacientes que en el futuro ayudarán a diseñar mejores terapias b) Impacto Clínico: resultados prometedores en diversas pruebas clínicas con más de 50 pacientes c) Desarrollo tecnológico: prototipo de un sistema con 2 patentes en trámite y buenas posibilidades de transferencia a la industria</p>
observaciones:	
Observaciones:	