

Diseño de un Guante Háptico para Rehabilitación Virtual, en Jóvenes con Lesión de la Medula Espinal Torácica T1-T12 (Paraplejía).

HERRERA-PIMBER, Guadalupe, MARTÍNEZ-ARROYO, Miriam, MONTERO-VALVERDE, José Antonio, HERNANDEZ-BRAVO, Juan Miguel

Instituto Tecnológico Nacional de México/IT de Acapulco, Guerrero, México

Recibido: septiembre, 22, 2020; Aceptado Febrero 9, 2021.

Resumen

En el presente artículo se describe una propuesta de un guante háptico para rehabilitación virtual, en jóvenes con lesión de la médula espinal torácica T1-T12 (Paraplejía). En este sentido pueden clasificarse de acuerdo con el nivel lesionar del paciente como vértebras cervicales (C1-C7), vértebras torácicas (T1-T12), vértebras lumbares (L1-L5), sacro-croccigeas (S1-S5).

Uno de los principales síntomas de la paraplejía son los trastornos de movimiento, los cuales son prácticamente o completamente difíciles de realizar. La lesión medular traumática representa una de las principales causas de discapacidad, con graves consecuencias en el entorno personal, familiar y laboral de quien la padece.

Las lesiones de la medula espinal torácica, lumbar o sacra afectan a las extremidades inferiores o superiores dando lugar a una paraplejía.

Este trabajo descrito en el presente artículo tiene como objetivo desarrollar una herramienta que sea de apoyo para rehabilitación en pacientes con paraplejía, ya que las rehabilitaciones convencionales hoy en día producen en el paciente síntomas de frustración, cansancio y aburrimiento.

Palabras clave: Paraplejía, Guante Háptico, Rehabilitación Virtual

Abstract

This article describes a proposal for a haptic glove for virtual rehabilitation, in young people with thoracic spinal cord injury T1-T12 (Paraplegia). In this sense they can be classified according to the level of injury of the patient as cervical vertebrae (C1-C7), thoracic vertebrae (T1-T12), lumbar vertebrae (L1-L5), sacral-crocodial (S1-S5).

One of the main symptoms of paraplegia is movement disorders, which are practically or completely difficult to perform.

Traumatic spinal cord injury represents one of the main causes of disability, with serious consequences in the personal, family and work environment of the person who suffers it.

Injuries to the thoracic, lumbar or sacral spinal cord affect the lower or upper extremities resulting in paraplegia.

This work described in this article aims to develop a tool that is supportive of rehabilitation in patients with paraplegia, since conventional rehabilitation today produces in the patient symptoms of frustration, fatigue and boredom.

Keywords: Paraplejía, Haptic Glove, Virtual Rehabilitation

Citación: HERRERA-PIMBER, Guadalupe, MARTÍNEZ-ARROYO, Miriam, MONTERO-VALVERDE, José Antonio, HERNANDEZ-BRAVO, Juan Miguel. Diseño de un Guante Háptico para Rehabilitación Virtual, en Jóvenes con Lesión de la Medula Espinal Torácica T1-T12 (Paraplejía). Foro de Estudios sobre Guerrero. 2020, Mayo 2021- Abril 2022 Vol.9 No.1 368-378

Correspondencia al Autor (MM1932008@acapulco.tecnm.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Artículo

Modernización Tecnológica y Desarrollo Regional

Introducción

La médula espinal es un largo cordón nervioso que se localiza en el interior del canal vertebral y se extiende desde la base del cerebro hasta la zona lumbar, forma parte del sistema nervioso central y es esencial para transportar e integrar información sensitiva y motora entre el encéfalo y el resto del organismo.

La médula espinal puede dañarse tras un traumatismo o una enfermedad. Al lesionarse la médula, la conexión entre el cerebro y algunas partes del cuerpo se interrumpe. La zona dañada se conoce como el “nivel de la lesión”.

Por encima, los nervios y las conexiones nerviosas funcionan con normalidad. Pero debajo de la lesión, la comunicación con el cerebro está alternada o interrumpida por lo que se producen dificultades para mover, sentir o controlar ciertas partes del cuerpo.

Los procesos de rehabilitación se realizan con el objetivo de que las personas que han sufrido lesiones medulares recuperen las funciones de movimiento motriz.

Las terapias generalmente se enfocan en la recuperación de la motricidad, hoy en día aún se siguen utilizando métodos convencionales basados solamente en la repetición de una serie de movimientos que en su conjunto forman tareas, utilizando diferentes músculos para así aumentar la actividad cerebral y, por ende, recuperar la motricidad.

Generalmente los procesos de rehabilitación utilizados hoy en día producen en el paciente síntomas de frustración, cansancio y aburrimiento, debido a que estas terapias se enfocan en el aspecto clínico, ignorando que gran parte de la rehabilitación se produce en el cerebro, por lo que es indispensable que estas terapias vayan acompañadas de estímulos emocionales que faciliten la recuperación.

Con la evolución de las tecnologías de realidad virtual y videojuegos se puede implementar un cambio en la rehabilitación de personas que han sufrido lesiones medulares, envolviendo al

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2021- Abril 2022 Vol.9 No.1 368-378

paciente en un ambiente virtual que proporciona experiencias estimulantes que no se comparan con las terapias tradicionales.

Objetivos

Desarrollar un guante háptico para rehabilitación virtual mediante videojuegos, para jóvenes con lesión medular (paraplejía).

Objetivos específicos

- Construir un guante mediante impresión 3D ofreciendo ergonomía y estética en el modelo.
- Seleccionar el motor de videojuegos que facilite la creación de entornos virtuales y la adaptación del dispositivo háptico.
- Diseñar interface interactiva que permita el desarrollo de actividades específicas que influyan en la motivación del paciente para la rehabilitación.

Justificación

Muchos de los efectos adversos asociados a las lesiones medulares no se derivan de la lesión en sí, sino de carencias en la prestación de la atención médica y los servicios de rehabilitación, así como de la persistencia de barreras en el entorno físico, social y político. Los jóvenes con lesiones medulares tardan más en ser escolarizados que los demás y, una vez incorporados al sistema educativo, tienen más dificultades para progresar en él.

Artículo

Modernización Tecnológica y Desarrollo Regional

Las personas con lesiones medulares son entre dos y cinco veces más propensas a morir prematuramente que las que no los padecen; las tasas de supervivencia más bajas corresponden a los países de ingresos bajos y medios. Las lesiones medulares se asocian a menores tasas de escolarización y participación económica y suponen un costo importante tanto para quienes las padecen como para la sociedad en su conjunto. Los adultos con lesiones medulares se enfrentan a diversos obstáculos para participar en la vida económica; de hecho, acusan una tasa global de desempleo superior al 60%.

A menudo hacen falta diversas tecnologías asistenciales para facilitar la rehabilitación y recuperar la motricidad, la comunicación y las actividades domésticas, para personas que han sufrido una afectación derivada de una lesión medular. La aplicación de la tecnología en la rehabilitación puede complementar las sesiones de terapias, y de esta manera ser más motivantes.

Las ventajas de la rehabilitación implementando tecnología son: Mayor relación costo-eficacia y mayor efectividad de las terapias que se aplican originando nuevas alternativas de rehabilitación. Esto es muy importante, por ejemplo, daría la posibilidad a jóvenes que tienen discapacidades severas, de desarrollar habilidades cotidianas.

Las nuevas tecnologías en rehabilitación brindan la posibilidad de reducir el uso de los dispositivos tradicionales, además de aumentar las capacidades del paciente, y provee nuevas formas de asistencia; en general, mejora el proceso global de su rehabilitación. Sin embargo, a medida que la población crece y las tecnologías se hacen más conocidas, se hace necesario incrementar la versatilidad de los dispositivos usados para suplir las nuevas demandas.

Estado del Arte

A continuación, se describen algunas investigaciones, que ya han sido desarrolladas con anterioridad por otros autores y que de

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2021- Abril 2022 Vol.9 No.1 368-378
alguna forma sirven de apoyo para desarrollar la propuesta planteada.

1. Sistema de Rehabilitación de Miembro Inferior Interconectado con un Videojuego.

Este autor (R. Franco, 2016), en la figura 1, desarrolla una solución de rehabilitación en donde integra el ejercicio mediante una bicicleta estática, con sensores y pulsadores de mando, fáciles de utilizar por pacientes de rehabilitación, y utiliza un videojuego de automóviles.



Figura 1. Sistema de Rehabilitación de miembro inferior
Adaptado por R. Franco, 2016

2. Mirall, un ejemplo del uso de cuaterniones en el desarrollo de videojuegos serios de tele-rehabilitación

(Monserrat, 2016), en la figura 2, utilizo los cuaterniones para desarrollar videojuegos de rehabilitación, el cual llamo Mirall.

La dinámica del videojuego se centra en la aparición de posturas, las cuales el paciente deberá imitar, con el objetivo de mejorar la resistencia y aumentar la integración de la lateralidad en este.

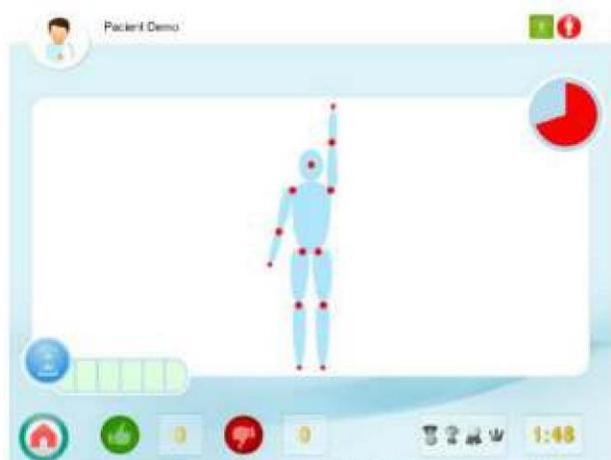


Figura 2. Mirall
Adaptado por Monserrat, 2016

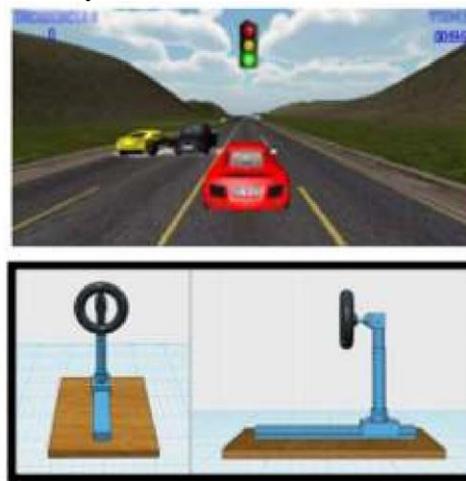


Figura 3. Contenidos Virtuales
Adaptada por Nájera, 2015

3.Contenidos Virtuales para Neurorrehabilitación Funcional de la Extremidad Superior

Como se observa en la figura 3, la utilización de entornos virtuales de rehabilitación que hacen uso de dispositivos comerciales para el entretenimiento ha adquirido un gran interés en el área de Neurorrehabilitación (Nájera, 2015).

Este trabajo de investigación tuvo por objetivo analizar la viabilidad del uso de nuevas tecnologías de monitorización e interacción de bajo costo para la creación de entornos virtuales de rehabilitación funcional de la extremidad superior, que puedan ser utilizados en el tratamiento de pacientes con traumatismo Craneoencefálico.

Métodos

- Tipo de estudio
Investigación aplicada
Involucra conceptos teóricos y prácticos
- Población
Pacientes con paraplejia (reportaron ocho personas con discapacidad motriz por cada 1 000 habitantes en el país, esto es, poco más de 814 mil personas, de las cuales 76.2% vivían en las localidades urbanas y 23.8% en el medio rural; la diferencia entre hombres y mujeres es muy pequeña)
- Muestra
Centros de rehabilitación, se probaría con 5 pacientes

Metodología

La metodología que se pretende implementar es desarrollar 4 módulos como se muestra en la figura 4, en los cuales se irán elaborando las actividades de cada módulo, al finalizar las actividades del módulo anterior y así sucesivamente.

Artículo

Modernización Tecnológica y Desarrollo Regional
 Los módulos que se van a desarrollar son los siguientes:



Figura 4. Metodología (Creación propia)

En la figura 5, podemos ver de manera gráfica la metodología a seguir para el desarrollo de esta herramienta:



Figura 5. Metodología en modo gráfico (Creación propia)

A continuación, se describen cada uno de los módulos:

+ MODULO I

En este módulo se describen todos los requisitos materiales que serán requeridos para el sistema, tanto los recursos financieros, como los recursos humanos necesarios.

A. Recursos financieros

- > Infraestructura, que tendrá un costo inicial de \$1,334.00
 - o Equipo de computo
 - o Impresora 3D
- > Recursos financieros
 - Obtención de documentos
 - Mantenimiento de equipo de PC
 - Mantenimiento de impresora 3D
 - Filamento para impresión (FilaFlex)
 - Estructura mecánica (sensores, actuadores, suministro de energía, tarjetas de control)
 - Software
 - Dispositivos de comunicación inalámbrica

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2021- Abril 2022 Vol.9 No.1 368-378
 Análisis de recursos financieros, se muestran en la tabla 1:

RECURSO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
RECURSOS FINANCIEROS	Infraestructura	1	\$1,334.00	\$1,334.00
	Equipo de computo	1	\$1,000.00	\$1,000.00
	Impresora 3D	1	\$334.00	\$334.00
	Software	1	\$1,000.00	\$1,000.00
	Dispositivos de comunicación inalámbrica	1	\$1,000.00	\$1,000.00
	Mantenimiento de equipo de PC	1	\$1,000.00	\$1,000.00
	Mantenimiento de impresora 3D	1	\$1,000.00	\$1,000.00
	Filamento para impresión (FilaFlex)	1	\$1,000.00	\$1,000.00
	Estructura mecánica (sensores, actuadores, suministro de energía, tarjetas de control)	1	\$1,000.00	\$1,000.00
	Requisitos de documentación	1	\$1,000.00	\$1,000.00

Tabla 1. Recursos Financieros (Creación propia)

B. Recursos Humanos Necesarios

> Recursos personales requeridos en un proyecto de investigación

- Ingeniero desarrollador del sistema de rehabilitación
- Director de proyecto del ingeniero desarrollador
- Codirector de proyecto del ingeniero desarrollador
- Tutor de proyecto del ingeniero desarrollador
- Director de la dependencia
- Médicos en rehabilitación
- Padre o tutor del paciente
- Paciente (proceso de rehabilitación)

Artículo

Modernización Tecnológica y Desarrollo Regional

- > Ingeniero desarrollador del sistema de rehabilitación

Se denomina así a la persona que será el encargado de desarrollar, elaborar y realizar pruebas del software de rehabilitación mediante videojuegos que se pretende desarrollar.

- > Director de proyecto del ingeniero desarrollador

Se le llama si a la persona encargada de guiar y aconsejar al ingeniero encargado de desarrollar el sistema de rehabilitación, en cuanto a métodos a utilizar, metodologías, materiales, como realizar pruebas, fechas de entregas y revisión, documentación, etc.

- > Coodirector de proyecto del ingeniero desarrollador

Se le llama si a la segunda persona encargada de guiar y aconsejar al ingeniero encargado de desarrollar el sistema de rehabilitación, en cuanto a metodos a utilizar, metodologías, materiales, como realizar pruebas, fechas de entregas y revisión, documentación, etc.

- > Tutor de proyecto del ingeniero desarrollador

Se le llama si a la tercera persona encargada de guiar y aconsejar al ingeniero encargado de desarrollar el sistema de rehabilitación, en cuanto a metodos a utilizar, metodologías, materiales, como realizar pruebas, fechas de entregas y revisión, documentación, etc.

- > Director de la dependencia

Es el encargado de dar la autorización para poder desarrollar el software en dicha dependencia, de hacer estancia, de poder colaborar con los pacientes de igual manera.

- > Médicos en rehabilitación

De todo el personal que colabora en el centro de rehabilitación, el medico en rehabilitación es el más importante, ya que, con ayuda de él, el paciente podrá realizar su rehabilitación y será quien evalué el software.

- > Padre o tutor del paciente

En su responsabilidad dentro del proyecto es dar su aprobación para que su hijo o hija siendo

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2021- Abril 2022 Vol.9 No.1 368-378
paciente pueda realizar su rehabilitación mediante el software que se pretende desarrollar.

> Paciente (proceso de rehabilitación) Es la persona más importante dentro de este desarrollo, ya que a través de él se probará si funciona o no esta herramienta de rehabilitación virtual.

+ MODULO II

En el segundo modulo se describe la creación del guante, el cual será impreso en 3D, hasta el momento se tienen las plantillas, tanto de los dedos como la parte superior de la mano. Posteriormente se muestran en la parte de resultados.

La impresión y construcción del guante tendrán un costo inicial de \$2.100.00

+ MODULO III

En este tercer modulo se describe la creación de la interfaz, en la cual será por la cual se visualicen los videojuegos (los cuales serán obtenidos del uso del software de Unity 3D), estos videojuegos serán los más aptos para los dos tipos de ejercicios de mano y muñeca en la que se está basando este desarrollo de rehabilitación, los cuales son PRONOSUPINACION Y MOVILIDAD DE DEDOS.

• Pronosupinación

Como se observa en la figura 6, el paciente debe de posicionar su brazo en forma de L, debe girar su mano de manera en que su palma este enfrente de él/ella (A). En seguida debe girar su mano de manera en que la parte contraria a la palma ahora este enfrente de él/ella (B).

Artículo

Modernización Tecnológica y Desarrollo Regional



Figura 6. Ejercicio de Pronosupinacion
Adaptada por: Ejercicios de mano y muñeca. (2017, 30 abril).
Traumatología Hellín.
<https://traumatologiahellin.wordpress.com/ejercicios/ejercicios-de-mano-y-muneca/>

• Movilidad de dedos

En la figura 7, el paciente debe tocar con su dedo pulgar cada yema de sus 4 dedos, (índice, dedo medio, anular y meñique).



Figura 7. Ejercicio Movilidad de Dedos
Adaptada por: Ejercicios de mano y muñeca. (2017, 30 abril).
Traumatología Hellín.
<https://traumatologiahellin.wordpress.com/ejercicios/ejercicios-de-mano-y-muneca/>

En la figura 8, podemos apreciar un ejemplo de como el guante una vez diseñado de manera electrónica compuesto por el Arduino Pro Micro, módulo bluetooth HC-05, batería de polímero de litio, y los actuadores vibratorios, estarán conectadas a la interfaz para poder manejar los videojuegos.



Figura 8. Ejemplo de Interfaz
Adaptada por: Rivero, E. (2018, 9 agosto). Un moderno guante que ayuda a la rehabilitación de accidentes cerebrales.
unocero. <https://www.unocero.com/ciencia/un-moderno-guante-que-ayuda-a-la-rehabilitacion-de-accidentes-cerebrales/>

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2021- Abril 2022 Vol.9 No.1 368-378

Los avances de la interfaz, serán apreciados en la parte de Resultados.

La creación de la interfaz tendrá un costo inicial de \$0.00

+ MODULO IV

En el último modulo se harán las pruebas y los resultados, del uso de esta herramienta de rehabilitación virtual, en un centro de rehabilitación motriz con pacientes que tengan lesiones medulares, es decir pacientes con Paraplejia.

Resultados

Los resultados obtenidos que se tiene hasta el momento son los siguientes:

> Creación del guante

En la figura 9, se muestran las plantillas, de los dedos, y también de la parte superior de la mano, como se puede apreciar en la figura 10.

- A. Dedo Pulgar
- B. Dedo Índice
- C. Dedo Medio
- D. Dedo Anular
- E. Dedo Meñique

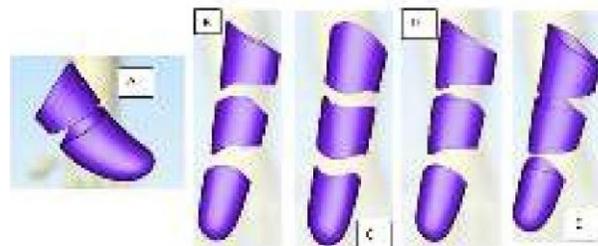


Figura 9. Plantilla de Dedos
Adaptada por: Brazos cibernéticos (impresión avanzada). (2020).
Cults. <https://cults3d.com/es/modelo-3d/variado/cybernetic-arms-advanced-print>

Artículo

Modernización Tecnológica y Desarrollo Regional

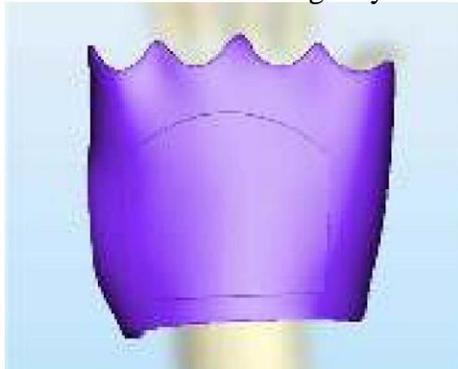


Figura 10. Plantilla de Mano

Adaptada por: Brazos cibernéticos (impresión avanzada). (2020).
Cults. <https://cults3d.com/es/modelo-3d/variado/cybernetic-arms-advanced-print>

En la siguiente figura podemos apreciar el prototipo completo, de las plantillas que se van a imprimir en 3D.

En la figura 11, se puede apreciar el lado de la palma de la mano.



Figura 11. Vista general de Plantilla de palma de la mano

Adaptada por: Brazos cibernéticos (impresión avanzada). (2020).
Cults. <https://cults3d.com/es/modelo-3d/variado/cybernetic-arms-advanced-print>

En la figura 12, se puede apreciar el lado contrario de la palma de la mano.

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2021- Abril 2022 Vol.9 No.1 368-378



Figura 12. Vista general de Plantilla del lado contrario de la palma de la mano

Adaptada por: Brazos cibernéticos (impresión avanzada). (2020).
Cults. <https://cults3d.com/es/modelo-3d/variado/cybernetic-arms-advanced-print>

➤ Creación de la interfaz

En esta parte se tiene parte de la interfaz, mediante la cual se podrán seleccionar los videojuegos, los cuales serán dos adaptados a los ejercicios los cuales son:

1. Pronosupinacion
2. Movilidad de dedos

De igual manera se podrá seleccionar en que nivel se realizara el videojuego, se cuentan con 3 niveles:

1. Nivel principiante
2. Nivel medio
3. Nivel avanzado

Artículo

Modernización Tecnológica y Desarrollo Regional

En la figura 13, se muestra la interfaz general.



Figura 13. Interfaz General
(Creación propia)

En la figura 14, se muestran la manera en la que se podrán seleccionar tanto el tipo de videojuego y el nivel.



Figura 14. Interfaz de selección de Videojuegos y Niveles de Videojuegos
(Creación propia)

Discusión

Muchos de los efectos adversos asociados a las lesiones medulares no se derivan de la lesión en sí, sino de carencias en la prestación de la atención médica y los servicios de rehabilitación, así como de la persistencia de barreras en el entorno físico, social y político.

Los jóvenes con lesiones medulares tardan más en ser escolarizados que los demás y, una vez incorporados al sistema educativo, tienen más dificultades para progresar en él.

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2021- Abril 2022 Vol.9 No.1 368-378

Las personas con lesiones medulares son entre dos y cinco veces más propensas a morir prematuramente que las que no los padecen; las tasas de supervivencia más bajas corresponden a los países de ingresos bajos y medios. Las lesiones medulares se asocian a menores tasas de escolarización y participación económica y suponen un costo importante tanto para quienes las padecen como para la sociedad en su conjunto. Los adultos con lesiones medulares se enfrentan a diversos obstáculos para participar en la vida económica; de hecho, acusan una tasa global de desempleo superior al 60%.

A menudo hacen falta diversas tecnologías asistenciales para facilitar la rehabilitación y recuperar la motricidad, la comunicación y las actividades domésticas, para personas que han sufrido una afectación derivada de una lesión medular. La aplicación de la tecnología en la rehabilitación puede complementar las sesiones de terapias, y de esta manera ser más motivantes.

Las ventajas de la rehabilitación implementando tecnología son: Mayor relación costo-eficacia y mayor efectividad de las terapias que se aplican originando nuevas alternativas de rehabilitación. Esto es muy importante, por ejemplo, daría la posibilidad a jóvenes que tienen discapacidades severas, de desarrollar habilidades cotidianas.

Las nuevas tecnologías en rehabilitación brindan la posibilidad de reducir el uso de los dispositivos tradicionales, además de aumentar las capacidades del paciente, y provee nuevas formas de asistencia; en general, mejora el proceso global de su rehabilitación.

Sin embargo, a medida que la población crece y las tecnologías se hacen más conocidas, se hace necesario incrementar la versatilidad de los dispositivos usados para suplir las nuevas demandas.

Artículo

Modernización Tecnológica y Desarrollo Regional *Trabajo a futuro*

Complementar las etapas marcadas en la metodología, empezando con la impresión del guante, posteriormente desarrollar las partes faltantes en cuanto a la interfaz, si son necesarias, la cual se conectará el guante y los videojuegos a utilizar para la rehabilitación de manera virtual.

Conclusión

El desarrollo de una herramienta de rehabilitación virtual mediante un guante háptico usando videojuegos, en la Paraplejía, es propuesto con el objetivo de disminuir los síntomas de frustración, cansancio y aburrimiento, en el paciente y reflejar la disminución del tiempo que involucra el proceso de rehabilitación.

Un punto muy importante que existe en el proceso de desarrollo de rehabilitación es que tiene dos etapas, la primera de ellas es la parte pasiva, en donde el paciente se adapta a su dispositivo o prótesis y la otra parte es la activa, en donde el paciente tiene que realizar por si solo sus ejercicios.

Con base a lo anterior podemos deducir que, usando este tipo de tecnología, los jóvenes se adaptarían más fácilmente a sus terapias, considerándolo una perspectiva de juego.

Por último, podemos pronosticar que si se disminuye el tiempo que tardan en una terapia convencional, se reduciría el impacto económico, ya que con gran dificultad algunos pacientes tienen que trasladarse a sus centros de rehabilitación cada que se les asigna una cita.

Artículo

Modernización Tecnológica y Desarrollo Regional

Referencias

- Manuel Bea. (2015). La Lesión Medular. 2017, de Info Lesión Medular Sitio web:<https://infolesionmedular.com/lesion-medular-primeros-conocimientos/lesion-medular/>
- Fundación Mapfre. (Julio/septiembre 2014). Paraplejia traumática a nivel dorsal: alteraciones morfológicas de la médula espinal a largo plazo. Trauma, 25, 1-3.
- Centro de Prensa. (2013). Lesiones medulares. 2019, de Organización Mundial de la Salud Sitio web: <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/spinal-cord-injury>
- Guillermo González Gilbey, Juan Antonio Andreu Bufill y Luís Gil de Biedma Alba. (2002). Lesión medular. 2016, de Fundación Institut Guttmann Sitio web: <https://www.guttmann.com/es/fundacion-privada>
- Aragón Martínez, A. (2016). Diseño y construcción de un guante háptico con retroalimentación de fuerza. (Tesis de Grado). Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, México.
- R. Franco, R. Z. (2016). Sistema de Rehabilitación de Miembro Inferior Interconectado con un Videojuego: Una Potencial Aplicación para Víctimas de Minas Antipersonal. Revista mexicana de ingeniería biomédica, 201-219.
- Monserrat, M. M. (2015). Mirall, un ejemplo del uso de cuaterniones en el desarrollo de. XXXIII Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica, 192-195.
- Nájera, F. M. (2015). Contenidos Virtuales para Neurorehabilitación Funcional de la. XXXIII Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica, 196-199.