

Motores y sensores disponibles en el mercado para el diseño de un exoesqueleto para rehabilitación de la rodilla: características comparadas para un estudio de factibilidad para uso pediátrico menor de 40kilos.

Autor: Santiago Colman¹, Autor de Conferencia: Ana Cecilia Villa Parra²
Isabel Morales³, Andrea Mattiozzi³ y Franco Simini³

¹Estudiante del Seminario de Ingeniería Biomédica 2021

²Conferencista del Seminario del día 05/05/21 con título "Proyecto y construcción de exoesqueletos U. Salesiana, Ecuador

³Docentes del Seminario de Ingeniería Biomédica 2021

1. Resumen

El objetivo de este trabajo es el estudio de mercado de los equipos que conforman un exoesqueleto de rodilla para uso pediátrico. Específicamente, se concentrará en motores y sensores, buscando opciones que cumplan los requerimientos de diseño que surgirán a partir de la investigación. Se buscará información a través de la plataforma timbó y se utilizará la asistencia de la conferencista Cecilia Villa Parra, cuya experiencia en el área será de gran utilidad.

2. Palabras clave

Exoesqueleto, Rodilla, Pediatría, Actuador SEA, Motor BLDC, Sensor Codificador Rotativo.

3. Introducción

La necesidad de caminar ha acompañado al ser humano desde el comienzo de su evolución. Si bien el movimiento no ocupa un rol tan importante en la supervivencia como lo hacía antes, en lo que respecta a la búsqueda de alimento y escapar de depredadores, si es importante para mantener un estilo de vida saludable.

Por esta razón, tecnologías innovadoras buscan el tratamiento de trastornos que afectan la marcha. Entre ellas, se encuentran los exoesqueletos, equipos electromecánicos que permiten apoyar a pacientes en el camino de su rehabilitación, haciendo el tratamiento más efectivo y disminuyendo su duración.

Esta monografía busca hacer un estudio de los equipos que conforman los exoesqueletos, en particular la articulación de la rodilla. Se focaliza el estudio en el uso pediátrico en pacientes con peso corporal menor a 40 kg.

4. Desarrollo

4.1. Exoesqueletos

Los exoesqueletos son equipos mecánicos cuya estructura es diseñada para trabajar como una extensión del cuerpo del paciente. Los mismos están integrados por actuadores, equipos que al recibir energía, son capaces de transformarla en un movimiento deseado, y de sensores, los cuales reciben información del cuerpo y del exoesqueleto para el funcionamiento del mismo o su posterior análisis.[1]

Los exoesqueletos son fabricados en función al paciente que los necesita y su diseño se basa en los requerimientos que surgen de del trastorno que sufra. Por esta razón, existe diversidad en los exoesqueletos disponibles en el mercado de acuerdo al enfoque terapéutico. [2]

Uno de los enfoque es el diseño de exoesqueletos para el aumento de la capacidad física del humano, pensado para permitir al portador aumentar su fuerza física moviendo sus extremidades de forma natural([3]). Mientras tanto, otros equipos son diseñados para la rehabilitación de pacientes con trastornos en la marcha. Por último, también existen exoesqueletos cuyo propósito es la asistencia en la marcha de pacientes con discapacidades. En muchos de estos casos, las discapacidades pueden ser causados por lesión en la médula espinal, pueden ser secuelas de un accidente cerebro vascular, entre otros ([4],[5]). Particularmente, se han estudiado exoesqueletos con el propósito de asistir niños con parálisis cerebral, cuyos resultados serán de utilidad más adelante.

Existen en el mercado gran variedad de exoesqueletos diseñados con un enfoque de rehabilitación ([6],[7]). En su mayoría, la parte de la población que se busca tratar son adultos, aunque se puede encontrar una sección en la literatura especialmente direccionada al tratamiento pediátrico. ([8]).

4.2. Componentes principales

El principal objetivo de este trabajo es hacer un análisis de los equipos existentes en el mercado, buscando conseguir información acerca de su diseño para luego buscar componentes que puedan formar parte de la construcción de un exoesqueleto de rodilla con uso pediátrico.

Una de las tecnologías más utilizadas para el movimiento de la rodilla en los exoesqueletos de miembros inferiores actuales son los SEA (Series Elastic Actuators).[8] [9] Los mismos son actuadores formados por un sistema de accionamiento y un elemento elástico. Si bien existen en el mercado exoesqueletos cuyo sistema de accionamiento se basa en un sistema neumático o hidráulico, la gran mayoría utilizan motores eléctricos para este fin.[7] Específicamente, motores de corriente continua. Los actuadores eléctricos tienen varias ventajas, pero se destaca su capacidad de control, permitiendo movimientos precisos del exoesqueleto. El elemento elástico puede variar dependiendo de los requerimientos de torque que serán aplicados. Ejemplos de uso popular son los cables Bowden y resortes de diferentes características. No se entrará en detalle en cuanto a la elección del elemento elástico.

Integrado a la estructura del exoesqueletos se encuentran los sensores. Estos se encargan de recopilar información de control sobre el movimiento de la extremidad. En la gran mayoría de los casos estudiados, se halló que los sensores utilizados con mayor frecuencia son codificadores rotativos [9] [10], los cuales son dispositivos electromecánicos que transforman la posición angular de su eje en una señal analógica. Estos se utilizan para conocer el ángulo de la rodilla. En ciertos diseños que presentaban mayor complejidad, se utilizaron galgas extensiométricas. Estos sensores se colocan en el elemento elástico que forma parte del actuador, permitiendo detectar pequeñas deformaciones en el mismo y convierte esa medida en una señal eléctrica. Existen otros sensores que se ven presentes en diferentes diseños de exoesqueletos, como por ejemplo sensores capacitivos de presión colocados en la planta de los pies del paciente para supervisar la marcha, sin embargo, no nos concentraremos en estos ya que no forman parte del sistema de movimiento de la rodilla.

4.3. Alcance del diseño

Previo a la elección de los componentes a utilizar en un posible diseño de exoesqueleto de rodilla, se deben establecer ciertos criterios. Se tomará en cuenta que el exoesqueleto será de una sola pierna. Además, se considerará que el movimiento a asistir será el de flexión y extensión de la rodilla, considerando un solo grado de libertad. Esto se hace para simplificar el diseño, y es un criterio utilizado en la gran mayoría de los exoesqueletos actuales. El fin del exoesqueleto será de rehabilitación y será diseñado para uso sentado.

Con respecto al motor del actuador, ya fue mencionado que el mismo será de corriente continua. Además, se utilizará un motor BLDC, es decir un motor síncrono de imán permanente. Este presenta varias ventajas, incluyendo alto torque para bajo peso, poco ruido al funcionar y altas velocidades.

La característica de alto torque es la principal, dado que será necesaria para el movimiento de la extremidad. Se buscarán motores que puedan suministrar $20Nm$ de torque continuo. Este valor se deriva de un estudio que mostró que el torque ejercido por la rodilla de niños típicos en desarrollo es de $1Nm/kg$ [11], por lo tanto, se estima un 50 % de asistencia aproximadamente.

4.4. Análisis de mercado

4.4.1. Motores

Comenzando por los motores BLDC, lo primero a destacar es su poca disponibilidad en el país. Si bien las marcas tienen representantes en la región, en el caso de construir un exoesqueleto en Uruguay, los motores deberán ser importados, aumentando el costo de los mismos. Teniendo en mente los requisitos detallados previamente, se eligieron motores que presentaran características diferentes.

Comenzando con el motor ILE2T661PC1A6 de la marca Schneider. Este presenta un torque nominal de $6Nm$ en $24V$ de alimentación. Una característica que se verá repetidas veces es que los motores BLDC normalmente no alcanzan los valores necesarios de torque por sí solos. En estos casos se debe incorporar una caja de reducción. En esta instancia se puede adjuntar una caja de modelo GBX040003K, que tiene una reducción de 3:1, lo cual aumentará el torque ejercido total, teniendo un torque final de $18Nm$, muy cercano al necesario. Adicionalmente, este motor presenta una velocidad de $75rpm$ en $24V$. Otra característica importante es que su peso total es de $2,3kg$, haciéndolo muy portable.

A continuación está el motor IDX 56 L de la marca Maxon. El mismo presenta $1,1Nm$ de torque máximo en $24V$. Como fue mencionado anteriormente, se debe incorporar otro accesorio para aumentar el torque. En este caso se utilizará un engranaje planetario GPX 52 UP, con una reducción de 21:1. Además este motor tiene un peso de solo $230g$ que al sumarle el peso del engranaje que es $690g$, tenemos un total de $920g$.

Una de las características principales que separó a estos motores de la competencia fue el hecho de trabajar en bajo voltaje. Muchas opciones en el mercado tienen un voltaje de funcionamiento de $150V$ hasta $220V$, que si bien es una opción utilizada en algunos diseños, es preferible evitarlo. En ambos casos, tenemos opciones portátiles debido a su bajo peso y se alcanzan los niveles de torque deseados. Una de las características que las separa es que Schneider tiene un representante oficial en Uruguay, por lo cual sería más conveniente su adquisición, por otro lado, Maxon no lo tiene. Lo que destacó de Maxon es que parece ser muy popular en la literatura con respecto a su uso, lo cual avala su calidad.

4.4.2. Sensores

Comenzamos por el RM22 de RLS. Este tiene solo $22mm$ de diámetro, lo cual permite incorporarlo fácilmente a cualquier diseño. Tiene una velocidad de operación de $30.000rpm$ y un voltaje de funcionamiento de $5V$. Finalmente, presenta una resolución máxima de 13 bits, 8.192 posiciones por revolución.

El siguiente es el MA3 DE US digital que tiene $25,4mm$. Tiene una velocidad de operación de $15.000rpm$ y un voltaje de funcionamiento de $5V$. Finalmente, presenta una resolución máxima de 12 bits, 4.096 posiciones por revolución.

Finalmente está el AEDA-3300 de Avago que tiene $17mm$. Tiene una velocidad de operación de $12.000rpm$ y un voltaje de funcionamiento de $5V$. Finalmente, presenta una resolución máxima de hasta 20.000 posiciones por revolución.

En el caso de los sensores, todos presentan buenas características de operación. Dado que no es

posible conseguir los precios de los proveedores, nos limitamos a comparar las características mecánicas y eléctricas. En todos los casos los sensores tienen un tamaño pequeño, lo cual es útil a la hora del diseño.

El modelo RM22 presenta una mejor combinación de características, dado que tiene mayor velocidad de operación que los otros dos modelos y una mejor resolución que el AM3.

Sin embargo, el AEDA-3300 es la mejor opción, dado que es la única que se encuentra en plaza en Uruguay. Además tiene una mejor resolución que los otros dos modelos.

5. Conclusiones

Este trabajo tenía como objetivo un estudio preliminar de mercado de los componentes para el diseño de un exoesqueleto de rodilla para rehabilitación de uso pediátrico.

Se logró llevar a cabo una investigación de los equipos presentes en el desarrollo de un exoesqueleto, pudiendo hallar opciones útiles para los motores y sensores que forman parte del mismo.

Sin embargo, dada la información recabada, se llega a la conclusión de que el desarrollo de un exoesqueleto, aunque posible, debe de tener un costo elevado. Aunque no se lograron hallar los precios exactos de los equipos, teniendo en cuenta de que los motores deben importarse y que se deben agregar accesorios para alcanzar los niveles de torque deseados, se puede estimar un costo alto de producción. Adicionalmente, no se entró en detalle en cuanto a el costo de diseño de la estructura del exoesqueleto y del material elástico del actuador, sin mencionar los procesadores de control.

6. Referencias

Referencias

- [1] LÓPEZ, Ricardo et al. Modelado y Control de un Exoesqueleto para la Rehabilitación de Extremidad Inferior con dos grados de libertad. Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 304-314, jul. 2014. ISSN 1697-7920. Disponible en: <<https://polipapers.upv.es/index.php/RIAI/article/view/9443>>. Fecha de acceso: 10 jun. 2021
- [2] Luis Jordy Arciniegas Mayag, "Desarrollo e implementación de un exoesqueleto de miembro inferior en actividades de a vida diaria", Tesis de psgrado, Prog. de Maestría en Ing. Biomédica, Univ. del Rosario, Bogotá D.C., 2020, [Online] Disponible: "<https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/26599>"
- [3] S. Marcheschi, F. Salsedo, M. Fontana and M. Bergamasco, "Body Extender: Whole body exoskeleton for human power augmentation," 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2011, pp. 611-616, doi: 10.1109/ICRA.2011.5980132.
- [4] S. K. Banala, S. H. Kim, S. K. Agrawal and J. P. Scholz, Robot Assisted Gait Training With Active Leg Exoskeleton (ALEX), in IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol. 17, no. 1, pp. 2-8, Feb. 2009, doi: 10.1109/TNSRE.2008.2008280.
- [5] Fleerkotte B.M. et al. (2013) Effectiveness of the LOwer Extremity Powered ExoSkeleton (LOPES) Robotic Gait Trainer on Ability and Quality of Walking in SCI Patients. In: Pons J., Torricelli D., Pajaro M. (eds) Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation. Biosystems & Biorobotics, vol 1. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi-org.proxy.timbo.org.uy/10.1007/978-3-642-34546-3_26

- [6] Sanchez-Villamañan, M., Gonzalez-Vargas, J., Torricelli, D. et al. Compliant lower limb exoskeletons: a comprehensive review on mechanical design principles. *J NeuroEngineering Rehabil* 16, 55 (2019). <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0517-9>
- [7] Pamungkas, D.S.; Caesarendra, W.; Soebakti, H.; Analia, R.; Susanto, S. Overview: Types of Lower Limb Exoskeletons. *Electronics* 2019, 8, 1283. <https://doi.org/10.3390/electronics8111283>
- [8] F. Patané, S. Rossi, F. Del Sette, J. Taborri and P. Cappa, "WAKE-Up Exoskeleton to Assist Children With Cerebral Palsy: Design and Preliminary Evaluation in Level Walking,in *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 25, no. 7, pp. 906-916, July 2017, doi: 10.1109/TNSRE.2017.2651404.
- [9] C. Lagoda, A. C. Schouten, A. H. A. Stienen, E. E. G. Hekman and H. van der Kooij, "Design of an electric series elastic actuated joint for robotic gait rehabilitation training,"2010 3rd IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, 2010, pp. 21-26, doi: 10.1109/BIOROB.2010.5626010.
- [10] K. A. Witte, A. M. Fatschel and S. H. Collins, "Design of a lightweight, tethered, torque-controlled knee exoskeleton,"2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), 2017, pp. 1646-1653, doi: 10.1109/ICORR.2017.8009484.
- [11] Chen Ji, Hochstein Jon, Kim Christina, Tucker Luke, Hammel Lauren E., Damiano Diane L., Bulea Thomas C..^A Pediatric Knee Exoskeleton With Real-Time Adaptive Control for Overground Walking in Ambulatory Individuals With Cerebral Palsy", *Frontiers in Robotics and AI*, 8, 2021, URL=<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/frobt.2021.702137>