

CAPÍTULO 3

3. Optimización del proceso de manufactura de un bipedestador pediátrico para parálisis cerebral espástica

Cristian Felipe Cortés Ortega

Manufacturing Process Optimization of a Pediatric Standing System for Spastic Cerebral Palsy

Optimización del proceso de manufactura

de un bipedestador
pediátrico para
parálisis cerebral
espástica

*Manufacturing Process
Optimization of a Pediatric
Standing System for Spastic
Cerebral Palsy*

Cristian Felipe Cortés Ortega

Universidad Católica de Pereira

Cristian.cortes@ucp.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2483-3560>

Resumen

El presente capítulo tiene como objetivo desarrollar una propuesta de mejora del proceso de manufactura de un modelo predecesor de un sistema de bipedestación pediátrico dirigido a niños con parálisis cerebral espástica, con el fin de aumentar sus niveles de madurez tecnológica y de manufactura. La investigación se desarrolló bajo un enfoque de diseño industrial aplicado, utilizando la metodología de diseño de Nigel Cross y los marcos de referencia de los Technology Readiness Levels (TRL) y Manufacturing Readiness Levels (MRL). Como técnicas principales se emplearon la revisión bibliográfica, el análisis funcional del producto, entrevistas a profesionales del área de la salud y la evaluación comparativa de alternativas de diseño. Los resultados evidencian que el rediseño de componentes estructurales permitió la integración de piezas, la reducción de procesos productivos y la optimización de materiales, lo que favoreció el incremento del nivel de madurez tecnológica del prototipo hasta un TRL 6. Se concluye que la propuesta desarrollada mejora la viabilidad técnica, funcional y manufacturable del bipedestador, contribuyendo a la disponibilidad de dispositivos de rehabilitación más accesibles y seguros en contextos con limitaciones económicas.

Palabras Clave: bipedestador pediátrico, diseño para manufactura, diseño industrial, parálisis cerebral espástica, TRL

Abstract

This chapter aims to develop a proposal for improving the manufacturing process of a predecessor model of a pediatric standing system for children with spastic cerebral palsy, in order to increase its technological and manufacturing readiness levels. The research was conducted under an applied industrial design approach, using Nigel Cross's design methodology and the Technology Readiness Levels (TRL) and Manufacturing Readiness Levels (MRL) frameworks. The main techniques included a literature review, functional product analysis, interviews

with healthcare professionals, and a comparative evaluation of design alternatives. The results show that the redesign of structural components enabled part integration, reduction of manufacturing processes, and material optimization, facilitating the advancement of the prototype to a TRL 6. It is concluded that the proposed improvements enhance the technical, functional, and manufacturing feasibility of the standing system, contributing to the availability of safer and more affordable rehabilitation devices in economically constrained contexts.

Keywords: pediatric standing system, spastic cerebral palsy, design for manufacturing, TRL, industrial design

Introducción

La parálisis cerebral (PC) es reconocida como una de las principales causas de discapacidad física en la infancia, esta se define como un conjunto de trastornos permanentes del desarrollo del movimiento y la postura, que generan limitaciones en la actividad y suelen estar acompañados de alteraciones sensoriales, cognitivas, comunicativas y conductuales. Dentro de este grupo, la parálisis cerebral espástica representa el tipo de mayor prevalencia, caracterizándose por un aumento patológico del tono muscular, rigidez, alteraciones posturales y dificultades significativas para la movilidad funcional (A. Sidiropoulos et al., 2021). Tales condiciones inciden de manera directa en la calidad de vida de los niños y sus familias, así como en su participación en contextos educativos, sociales y comunitarios (A. N. Sidiropoulos et al., 2021).

La pérdida o limitación de la bipedestación constituye uno de los principales retos funcionales en niños con parálisis cerebral espástica (Ali, 2021). La posición bípeda no solo está asociada con la posibilidad de la marcha, sino que cumple un papel fundamental en el desarrollo musculoesquelético, la alineación postural, la prevención de deformidades, la estimulación del sistema cardiovascular y respiratorio, como

también el adecuado funcionamiento de los órganos internos. Asimismo, la bipedestación asistida favorece procesos de interacción social y estimulación cognitiva, aspectos esenciales para el desarrollo integral del niño (Machado et al., 2019).

En este contexto, los bipedestadores pediátricos se consolidan como dispositivos de asistencia tecnológica clave dentro de los procesos de rehabilitación; sin embargo, el acceso a este tipo de dispositivos suele estar condicionado por factores económicos y tecnológicos, especialmente en países en desarrollo, donde gran parte de la oferta disponible corresponde a equipos importados con altos costos de adquisición, mantenimiento y reposición de piezas (Harris et al., 2019). Esta situación limita su disponibilidad en instituciones de salud, centros de rehabilitación y entornos familiares, lo que genera brechas significativas en la atención de la población infantil con discapacidad (Wiratmadja & Mufid, 2016).

Adicionalmente, muchos de los dispositivos existentes no se encuentran plenamente adaptados a las condiciones productivas locales ni a las necesidades específicas de los usuarios, lo que se traduce en dificultades de mantenimiento, baja escalabilidad productiva y limitada adecuación a contextos clínicos diversos. Ante este panorama, resulta pertinente abordar el diseño y la manufactura de bipedestadores pediátricos desde una perspectiva de optimización de procesos, orientada a mejorar su viabilidad técnica, económica y funcional (Smanski et al., 2022).

En consecuencia, este capítulo se deriva de una investigación de pregrado en diseño industrial que tuvo como propósito desarrollar una propuesta de mejora del proceso de manufactura de un modelo predecesor de bipedestador pediátrico, el cual se encontraba en un nivel intermedio de madurez tecnológica. A partir del rediseño de componentes estructurales y la incorporación de criterios clínicos y de manufac-

tura, se buscó incrementar los niveles de madurez tecnológica y de manufactura del sistema, proyectándolo hacia un entorno relevante de validación. La relevancia de este capítulo radica en su aporte al diseño de dispositivos de rehabilitación accesibles, seguros y contextualizados; de esta manera, contribuye al fortalecimiento de soluciones tecnológicas orientadas a la atención de la parálisis cerebral espástica en contextos con recursos limitados.

Ahora bien, cabe precisar que este capítulo se desarrolla bajo una perspectiva inmersa en el desarrollo tecnológico e investigación-creación en relación con el Diseño Industrial, más no como una investigación científica experimental de corte clínico; por ende, su principal aporte radica en la sistematización productiva del proceso de rediseño y no en la generación de evidencia clínica.

El origen de esta propuesta emana de un diagnóstico técnico previo del modelo predecesor de bidepestador, en el cual se identificaron limitaciones concretas de seguridad, complejidad de manufactura y elevado número de componentes estructurales (como se detalla en los resultados). Esto, sustentado en la revisión bibliográfica sobre bidepestación pediátrica y en la valoración técnica directa del prototipo original, se configuró como el punto de partida para el proyecto.

Lo anterior guio la formulación del problema hacia la optimización del proceso de manufactura como estrategia para incrementar los niveles de madurez tecnológica (TRL) y de manufactura (MRL) del dispositivo.

Metodología

El desarrollo del proyecto se fundamentó en un enfoque de diseño industrial aplicado, enfocado en la mejora de procesos y productos existentes. Se adoptó la metodología de diseño pro-

puesta por Nigel Cross (Cross, n.d.). Bajo esta noción, se dio estructura al proceso creativo y técnico en etapas secuenciales que facilitan la toma de decisiones fundamentadas.

En una primera fase se realizó una revisión bibliográfica sobre la comprensión de la parálisis cerebral espástica, los principios terapéuticos de la bipedestación y los criterios técnicos asociados a este tipo de dispositivos. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis funcional del modelo predecesor del bipedestador, con el fin de identificar sus funciones esenciales y limitaciones técnicas.

Como complemento, se aplicaron entrevistas semiestructuradas a profesionales del área de la salud, tales como fisioterapeutas y personal de enfermería, quienes aportaron criterios clínicos y de seguridad para el levantamiento de requerimientos de diseño. A partir de esta información se establecieron los requerimientos funcionales, técnicos y fisioterapéuticos del sistema.

Los participantes, por su parte, se seleccionaron mediante un muestreo intencional no probabilístico, bajo los criterios de vinculación activa a procesos de rehabilitación pediátrica y experiencia clínica documentada en el manejo de niños con parálisis cerebral espástica y en el uso o prescripción de dispositivos de bipedestación.

De igual manera, se empleó la entrevista semiestructurada, de carácter individual, para indagar sobre alineación postural, estabilidad, riesgos de lesión y necesidades de sujeción o frenado. Las respuestas derivadas de ello se sistematizaron mediante análisis de contenido temático, en lo que se contemplaron las categorías mencionadas; esto, constituye la base para la construcción de requerimiento presentada en la Tabla 1.

Finalmente, se generaron y evaluaron alterna-

tivas de rediseño de componentes, utilizando criterios asociados a desempeño, seguridad, facilidad de manufactura y costos. El proceso fue analizado mediante los marcos TRL y MRL, con el objetivo de verificar el avance del prototipo hacia un nivel de madurez tecnológica que permitiera su validación en un entorno relevante.

En la misma línea, la clasificación del prototipo en TRL 6 se determinó mediante criterios técnicos definidos por la escala original de Technology Readiness Levels (Mankins, 1995), en los cuales se exige que el sistema o subsistema haya existido en forma de modelo o prototipo funcional; además, debe estar integrado en condiciones contextuales reales de uso, trasladándose, de esta manera, a la validación propia de los niveles TRL 4 Y TRL 5.

En el caso del bipedestador, estos se verificaron a través de la comprobación funcional del cambio de posición de sedente a bípeda de manera segura; la evaluación del comportamiento estructural del prototipo bajo condiciones de uso simuladas; el contraste de los requerimientos fisioterapéuticos y de manufactura, definidos en las previas. Así, lo relacionado con la manufactura, se contrastó con lo expuesto por Manufacturing Readiness Leves (MRL), en particular con lo asociado a la madurez del proceso productivo, la disponibilidad de materiales y la repetibilidad de las operaciones de fabricación (Harris et al., 2019).

Resultados

A partir del proceso de análisis y rediseño del bipedestador se identificaron resultados relevantes tanto en el ámbito clínico-funcional como en el técnico-productivo. En una primera etapa, la evaluación del modelo predecesor evidenció limitaciones asociadas principalmente a la seguridad del usuario, la complejidad del proceso de manufactura y el elevado número de componentes estructurales. Estas condiciones incidían de manera negativa en los cos-

tos de producción, en la facilidad de mantenimiento del dispositivo y en su viabilidad para una eventual producción seriada.

En función de las entrevistas a profesionales del área de la salud, específicamente fisioterapeutas y personal de enfermería, se estableció un conjunto de requerimientos fisioterapéuticos, en dirección a garantizar una correcta alineación postural, estabilidad y seguridad del niño durante el uso del bipeDESTADOR.

Dichos requerimientos estuvieron relacionados con la necesidad de soportes ajustables para

cabeza, tronco, rodillas y pies, así como con la incorporación de elementos de sujeción que permitieran minimizar el riesgo de lesiones por movimientos involuntarios. De igual modo, se identificó la importancia de integrar sistemas de frenado en las ruedas, con el fin de prevenir desplazamientos no controlados del dispositivo durante los cambios de posición o la interacción del niño con el entorno. La Tabla 1 sintetiza los principales requerimientos fisioterapéuticos identificados durante este proceso.

Tabla 1 *Requerimientos fisioterapéuticos para el diseño del bipeDESTADOR*

Requerimiento	Finalidad clínica	Parámetro de diseño
Soporte abatible de cabeza	Alineación cabeza-tronco y seguridad	Apoyacabezas ajustable y removible
Soporte ajustable de tronco	Estabilidad postural	Arnés o correas de sujeción
Apoyo anterior abatible	Facilitación de intervenciones terapéuticas	Mesa frontal removible
Cojín abductor	Posicionamiento adecuado de miembros inferiores	Elemento fijo o removible
Soporte de rodillas y pies	Prevención de lesiones y estabilidad	Apoyos anatómicos ajustables
Sistema de freno en ruedas	Prevención de accidentes	Frenos en las cuatro ruedas

Nota. Elaboración propia.

En el ámbito del diseño para manufactura, uno de los resultados más significativos fue la optimización de la estructura del bipeDESTADOR mediante la integración de múltiples piezas en componentes monolíticos. Esta estrategia permitió reducir de manera considerable el número de procesos productivos, especialmente

en operaciones de doblado, soldadura y perforación, lo que se tradujo en una disminución de los tiempos de fabricación y en una mejora de la eficiencia del proceso productivo. La reducción del número de componentes también favoreció una mayor facilidad de ensamblaje y mantenimiento del dispositivo. La Figura 1 ilus-

tra la comparación entre el conjunto de piezas inferiores del modelo predecesor y su versión optimizada.

De igual manera, el rediseño de componentes estructurales, como el soporte vertical y las uniones horizontales permitió eliminar elementos redundantes presentes en el modelo original. A través del ajuste de calibres y la selección adecuada de perfiles metálicos, se logró una reducción del peso total del bipedestador sin comprometer su resistencia estructural ni su estabilidad. Este resultado es relevante en dispositivos pediátricos, donde el peso del equipo influye en su maniobrabilidad, transporte y facilidad de uso por parte de cuidadores y profesionales de la salud.

Otro resultado relevante fue la evaluación sistemática de alternativas de diseño para cada uno de los componentes críticos del sistema. Estas alternativas fueron analizadas a partir de criterios previamente definidos, entre los que se incluyeron la seguridad del usuario, la funcionalidad del dispositivo, la facilidad de manufactura y los costos asociados. El uso de matrices comparativas permitió seleccionar las soluciones de diseño que ofrecían un mejor equilibrio entre desempeño técnico y viabilidad

productiva, lo que fortaleció la coherencia del proceso de toma de decisiones.

La implementación de las mejoras de diseño y manufactura derivó en el desarrollo de un prototipo funcional del bipedestador, capaz de realizar el cambio de posición de sedente a bípeda de manera segura y controlada. Este prototipo fue validado en un entorno destacado; en consecuencia, demostró el avance del sistema hasta un nivel de madurez tecnológica correspondiente a un TRL 6. Este nivel implica la demostración de un modelo de sistema o subsistema en condiciones que simulan de forma adecuada su contexto de uso real.

Por último, el análisis de costos asociado al nuevo modelo de bipedestador mostró una reducción significativa frente a dispositivos comerciales disponibles en el mercado, particularmente aquellos de origen importado. Este resultado refuerza la viabilidad del dispositivo para su producción local y su potencial implementación en instituciones de salud y centros de rehabilitación, contribuyendo a ampliar el acceso a tecnologías de asistencia para niños con parálisis cerebral espástica en contextos con limitaciones económicas.

Figura 1 Comparativo de sistemas de bipedestación pediátrico



Nota. Fotografías modelo predecesor y prototipo optimizada. Tomadas por el autor.

Tabla 1 *Requerimientos fisioterapéuticos para el diseño del bipedestador*

Indicador	Bipedestador optimizado (propuesta)	Referencia comercial
Procesos de manufactura	Componentes monolíticos; reducción de operaciones de doblado, soldadura y perforado.	Ensamblajes multicomponente, mayor número de uniones y piezas.
Escalabilidad productiva	Compatible con producción seriada de baja-media escala.	Producción centralizada, de origen importado.
Consideraciones normativas y de certificación	ISO 7176-1, ISO 7176-8 e ISO 7176-30	Dispositivos certificados y comercializados, según regulaciones.

Nota. Elaboración propia.

Con respecto a la viabilidad productiva, la reducción del número de piezas y operaciones descrita con anterioridad, estas favorecen en tiempos de fabricación y producción seriada; sin embargo, la cuantificación precisa de tiempos, costos y punto de equilibrio productivo se recomienda su documentación en trabajos futuros.

Ahora bien, la viabilidad comercial, la orientación del proyecto pretende guiar procesos de manufactura sencillos y materiales de disponibilidad local, lo que constituye un argumento diferencial frente a la oferta importada. En materia normativa, el tránsito del dispositivo hacia niveles de madurez superiores (TRL 7-8) deberá contemplar su evaluación bajo técnicas aplicables, teniendo en cuenta las particularidades y regulaciones necesarias para ellas.

Discusión y Conclusiones

Los resultados obtenidos confirman que la optimización del proceso de manufactura en dispositivos de asistencia tecnológica constituye una estrategia eficaz para mejorar no solo el desempeño técnico del producto, sino también su viabilidad económica y su pertinencia clínica (Ali, 2021). En el caso específico del bipedestador pediátrico analizado, el rediseño permitió abordar de forma integral las limitaciones identificadas en el modelo predecesor, evidenciando que las decisiones de diseño orientadas

a la manufactura tienen un impacto directo en la funcionalidad, seguridad y accesibilidad del dispositivo.

Desde una perspectiva clínica, la incorporación de requerimientos fisioterapéuticos derivados de la consulta con profesionales de la salud representó un elemento clave en el fortalecimiento del diseño. Los soportes ajustables para cabeza, tronco, rodillas y pies, así como los sistemas de sujeción y frenado, responden a necesidades reales observadas en niños con parálisis cerebral espástica, especialmente aquellos ubicados en los niveles III a V del Sistema de Clasificación de la Función Motora Gruesa (Bagesteiro et al., 2023).

Estos niños presentan un control postural limitado y requieren dispositivos que faciliten la bipedestación, al igual que garanticen estabilidad, alineación y seguridad durante el uso prolongado del equipo (Tavasoli et al., 2023). En este sentido, el bipedestador propuesto se alinea con los principios terapéuticos contemporáneos de la rehabilitación pediátrica, al priorizar la prevención de lesiones, la corrección postural y el confort del usuario.

En relación con el diseño industrial, los hallazgos del estudio sustentan la importancia de abordar los proyectos de tecnología asistiva desde una lógica sistémica, en la que los aspectos formales, funcionales y productivos se conciban de manera articulada. La integración

de múltiples componentes estructurales en piezas monolíticas permitió reducir, de manera significativa, la complejidad del sistema, por ende, disminuye el número de operaciones de manufactura requeridas. Esta decisión no solo impactó positivamente los tiempos y costos de producción, también favoreció la robustez estructural del dispositivo y simplificó los procesos de ensamblaje y mantenimiento.

Ahora bien, la reducción del peso del bipedestador, lograda mediante la optimización de calibres y perfiles metálicos, representa un aporte relevante en términos de usabilidad. En dispositivos pediátricos, el peso del equipo influye directamente en la facilidad de transporte, manipulación y ajuste por parte de cuidadores y profesionales de la salud. Así, el rediseño estructural contribuye a mejorar la experiencia de uso del dispositivo en contextos clínicos y domiciliarios, ampliando su potencial de implementación.

El uso de los niveles de madurez tecnológica (TRL) y de manufactura (MRL) como marco de referencia posibilitó estructurar el análisis del proyecto de manera objetiva y sistemática (Cross, n.d.). El avance del prototipo hasta un TRL 6 refleja que el proceso de rediseño no se limitó a una validación conceptual o de laboratorio, por el contrario, alcanzó una demostración funcional en un entorno relevante. Este resultado es significativo en el contexto de proyectos académicos de pregrado, ya que demuestra el potencial del diseño industrial como disciplina generadora de desarrollos tecnológicos con proyección real hacia su transferencia y aplicación práctica.

Al contrastar de manera implícita los resultados del estudio con la oferta comercial existente, se observa que muchos bipedestadores disponibles en el mercado priorizan soluciones altamente tecnificadas, asociadas con frecuencia a elevados costos de adquisición y mantenimiento (Rapson et al., 2022). Estas condiciones limitan su accesibilidad en países en desarrollo y en instituciones con recursos económicos restringidos. En contraste, la propuesta desarrollada en este proyecto se fundamenta en procesos de manufactura sencillos, materiales

disponibles localmente y una lógica de optimización de recursos, lo que favorece la producción nacional y reduce la dependencia tecnológica externa.

No obstante, es importante reconocer las limitaciones del estudio. Si bien el prototipo fue validado en un entorno relevante, no se realizaron evaluaciones clínicas prolongadas con usuarios finales; lo anterior, limita la posibilidad de analizar variables como el confort a largo plazo, la adaptabilidad al crecimiento del niño y la durabilidad de los componentes bajo condiciones de uso intensivo (Thomas Biju et al., 2022). Adicionalmente, aunque el análisis de costos evidenció ventajas competitivas frente a alternativas comerciales, futuros estudios podrían profundizar en modelos de producción a mayor escala y en análisis de sostenibilidad del producto a lo largo de su ciclo de vida.

Por consiguiente, la validación alcanzada corresponde a una demostración funcional en un entorno relevante (TRL 6), pero no incluyó una fase de validación con usuarios finales y en escenarios propios de su materialidad. Esto establece una limitación notable para un dispositivo de uso terapéutico directo con la población pediátrica. Su funcionalidad presenta elementos críticos, tales como el comportamiento del mecanismo de basculación bajo cargas dinámicas, la efectividad del posicionamiento dirigido de cabeza, tronco, rodillas y pies durante sesiones prolongadas; los cuales, requieren ser evaluados y validados clínicamente.

En síntesis, la optimización del proceso de manufactura no solo mejora el desempeño técnico del dispositivo, sino que también fija un factor determinante para su sostenibilidad y escalabilidad. Como proyección futura, se recomienda profundizar en la validación clínica del bipedestador con usuarios finales, incorporar procesos de certificación y normatividad, así como explorar estrategias de producción seriada que faciliten su transferencia al sector industrial. Tales acciones permitirán consolidar el dispositivo como una solución tecnológica viable, segura y accesible, dirigida a mejorar la calidad de vida de niños con parálisis cerebral espástica y de sus familias.

Referencias

Ali, M. S. (2021). Does spasticity affect the postural stability and quality of life of children with cerebral palsy? *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 16(5), 761–766. <https://doi.org/10.1016/j.jtu-med.2021.04.011>

Bagesteiro, L. B., Tellini, T. L., & Brown, L. E. (2023). Analysis of motor characteristics of reaching movements in children with cerebral palsy. *Heliyon*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13455>

Cross, N. (n.d.). *Engineering design methods : strategies for product design*. 207.

Harris, G., Yarbrough, A., Abernathy, D., & Peters, C. (2019). Manufacturing Readiness for Digital Manufacturing. *Manufacturing Letters*, 22, 16–18. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2019.10.002>

International Organization for Standardization. (2014). ISO 7176–1:2014. *Wheelchairs–Part 1: Determination of static stability*. ISO.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 7176–30:2018. *Wheelchairs–Part 30: Wheelchairs for changing occupant posture–Test methods and requirements*. ISO.

Machado, C. G., Winroth, M., Carlsson, D., Almström, P., Centerholt, V., & Hallin, M. (2019). Industry 4.0 readiness in manufacturing companies: Challenges and enablers towards increased digitalization. *Procedia CIRP*, 81, 1113–1118. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.262>

Mankins, J.C. (1995). *Technology readiness levels: A white paper*. NASA, Office of Space Access and Technology.

Rapson, R., King, T., Morris, C., Jeffery, R., Mellhuish, J., Stephens, C., & Marsden, J. (2022). Effect of different durations of using a standing frame on the rate of hip migration in children with moderate to severe cerebral palsy: a feasibility study for a randomised controlled trial. *Physiotherapy (United Kingdom)*, 116, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2022.01.001>

Sidiropoulos, A., Magill, R., & Gordon, A. (2021). Coordination of the upper and lower extremities during walking in children with cerebral palsy. In *Gait and Posture* (Vol. 86, pp. 251–255). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.03.028>

Sidiropoulos, A. N., Santamaria, V., & Gordon, A. M. (2021). Continuous inter-limb coordination deficits in children with unilateral spastic cerebral palsy. *Clinical Biomechanics*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2020.105250>

Smanski, M. J., Aristidou, A., Carruth, R., Erickson, J., Gordon, M., Kedia, S. B., Lee, K. H., Prather, D., Schiel, J. E., Schultheisz, H., Treynor, T. P., Evans, S. L., Friedman, D. C., & Tomczak, M. (2022). Bioindustrial manufacturing readiness levels (BioMRLs) as a shared framework for measuring and communicating the maturity of bioproduct manufacturing processes. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 49(5). <https://doi.org/10.1093/jimb/kuac022>

Tavasoli, S., Tavasoli, M., Shojaeefard, M., & Farahmand, F. (2023). Analysis of cerebral palsy gait based on movement primitives. *Clinical Biomechanics*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2023.105947>

Thomas Biju, S., Mathew Nidhiry, N., Thomas, J., Thomas, M. K., & Varkey Rajan, M. (2022). Development of standing aid for physically disabled people including Cerebral palsy. *Materials Today: Proceedings*, 58, 577–579. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.075>

Wiratmadja, I. I., & Mufid, A. (2016). The Development of Model for Measuring Railway Wheels Manufacturing Readiness Level. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 114(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/114/1/012095>