



Trabajo original

Biomodelos tridimensionales para el tratamiento quirúrgico de coaliciones astrágalo-calcáneas

Three-dimensional biomodels for the surgical treatment of talo-calcaneal coalitions

Dr. Javier Masquijo,* Dr. Andrés Ferreyra,* Dra. Victoria Allende*
Sanatorio Allende, Córdoba, Argentina.

* Departamento de Ortopedia y Traumatología Infantil, Sanatorio Allende. Córdoba, Argentina.

RESUMEN

Introducción: El tratamiento quirúrgico de las coaliciones astrágalo-calcáneas (CAC) es desafiantre debido a la variabilidad de presentación y a la compleja anatomía de la articulación subastragalina. El objetivo de este estudio es describir nuestra experiencia con el uso de la impresión tridimensional para la planificación preoperatoria de las CAC. **Material y métodos:** Estudiamos prospectivamente a todos los pacientes con coaliciones astrágalo-calcáneas tratados entre enero de 2017 a enero de 2019. En todos los pacientes a los que se les indicó tratamiento quirúrgico se realizaron reconstrucciones tridimensionales a partir de las imágenes tomográficas utilizando el programa Mimics® 16 Materialise. La planificación se llevó a cabo con el programa 3-matic® Medical versión 8 Materialise. Posteriormente, se fabricaron biomodelos en PLA (ácido poliláctico) con una impresora de tecnología FDM (modelado por deposición fundida) Ultimaker 3. Los archivos digitales fueron preparados para la fabricación con el programa Ultimaker Cura 3.6. **Resultados:** Se evaluaron cinco pacientes consecutivos (seis pies). La edad promedio fue de 13.2 ± 1.3 años. Cinco pies no habían recibido tratamiento quirúrgico previo y un pie presentaba una resección fallida. Los modelos fueron obtenidos a escala real (proporción 1:1). La impresión de los biomodelos permitió determinar exactamente el grado de afectación de la faceta posterior, el plano de resección de la coalición, la magnitud de la deformidad del pie y, en caso de ser necesario, planificar las osteotomías para la realineación del mismo. En cuatro pies se planificó la resección de la coalición asociada con realineación, en un pie la resección aislada y en el restante una revisión de la resección. No se presentaron complicaciones postoperatorias. Al último seguimiento todos los pacientes se encontraban asintomáticos y conformes con el procedimiento realizado. Ningún paciente requirió cirugías adicionales. **Conclusión:** La utilización de biomodelos tridimensionales facilita el planeamiento prequirúrgico, lo cual permite trasladar un planeamiento virtual en uno más tangible. Potencialmente, una planificación de mejor calidad podría disminuir

ABSTRACT

Introduction: Surgical treatment of talocalcaneal coalitions (TCC) is challenging due to the high variability in clinical presentation and complex anatomy of the subtalar joint. The aim of this study is to describe our experience with the use of three-dimensional printing for pre-operative planning of TCCs. **Material and methods:** We prospectively studied patients with TCC treated between January 2017 to January 2019. Three-dimensional reconstructions were performed from tomographic images using the Mimics® 16 Materialize program. Preoperative planning was carried out with the 3-matic® Medical version 8 Materialize program. Subsequently, biomodels were manufactured in PLA (polylactic acid) with an FDM technology printer (fused deposition modeling) Ultimaker 3. The digital files were prepared for manufacturing with the Ultimaker Cura 3.6 program. **Results:** Five consecutive patients (6 feet) were evaluated. Average age was 13.2 ± 1.3 years. Five feet had not received prior surgical treatment, and one foot had a failed previous resection. The models were obtained at real scale (1:1 ratio). The impression of the biomodels allowed to determine precisely the involvement of the posterior facet, plane of resection of the coalition, magnitude of hindfoot deformity and, if necessary, to plan the osteotomies for realignment. Four feet had resection of the coalition associated to realignment, one foot had isolated resection, and one had a revision surgery (coalition resection). At the last follow-up, all patients were asymptomatic, and satisfied with the procedure. No patient required additional surgeries. **Conclusion:** The use of three-dimensional biomodels facilitates pre-surgical planning, allowing virtual planning to be translated into a more tangible one. Potentially, better quality planning could reduce surgery time and allow a more accurate correction of the deformity. Comparative studies are required to determine if these hypotheses are correct.

Recibido para publicación: 22/06/2020. Aceptado: 04/11/2020.

Correspondencia: **Javier Masquijo**
E-mail: jmasquijo@gmail.com

Citar como: Masquijo J, Ferreyra A, Allende V. Biomodelos tridimensionales para el tratamiento quirúrgico de coaliciones astrágalo-calcáneas. Rev Mex Ortop Ped. 2020; 22(1-3); 11-15. <https://dx.doi.org/10.35366/97449>



<http://www.medigraphic.com/ortopediapediatica>

el tiempo de cirugía y permitiría una corrección más precisa de la deformidad. Se requiere de nuevos estudios para determinar si estas hipótesis son correctas.

Palabras clave: Pie, adolescentes, coalición astrágalo-calcánea, resección, planificación, biomodelos 3D.

Nivel de evidencia: IV

Keywords: Foot, adolescents, talocalcaneal coalition, resection, planning, 3D biomodels.

Evidence level: IV

INTRODUCCIÓN

Las coaliciones tarsales representan una anomalía congénita en la cual existe una fusión fibrosa, cartilaginosa u ósea entre dos o más huesos del tarso.¹ La incidencia estimada en la población es de 1 a 6%; las más frecuentes son las localizadas entre el calcáneo-escapoideas tarsiano y astrágalo-calcáneo (aproximadamente 90% de los casos reportados).^{2,3} Un alto porcentaje de los pacientes que presentan esta patología suelen requerir tratamiento quirúrgico para aliviar el dolor, mejorar la movilidad o corregir la deformidad asociada.

El tratamiento quirúrgico de las coaliciones astrágalo-calcáneas (CAC) es desafiante debido a la variabilidad de la presentación y la compleja anatomía de la articulación subastragalina. Algunos autores proponen la utilización de la tomografía computarizada⁴ o la navegación intraoperatoria^{5,6} para guiar la resección. De manera reciente, la utilización de impresiones 3D ha sido aplicada en diversas áreas y está jugando un papel cada vez más importante en la planificación de patologías ortopédicas complejas.^{7,8} La utilización de esta tecnología en patologías del pie ha sido reportada por múltiples autores,⁹⁻¹² pero su aplicación en coaliciones tarsales ha sido mencionada escasamente.^{13,14}

El objetivo de este estudio es describir nuestra experiencia con el uso de la impresión tridimensional para la planificación preoperatoria de las CAC.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estudiamos prospectivamente a todos los pacientes con coaliciones astrágalo-calcáneas tratados entre enero de 2017 a enero de 2019. Se registraron datos demográficos: edad, sexo, localización del dolor, tratamiento previo, complicaciones y necesidad de procedimientos adicionales. Las coaliciones astrágalo-calcáneas fueron evaluadas con tomografía computarizada (TAC), con reconstrucción 3D y clasificadas, de acuerdo con Rozansky y colegas,⁶ en cinco tipos: I: lineales, II: lineal con gancho posterior, III: teja, IV: ósea y V: posterior. La alineación del retropié se valoró utilizando el ángulo astrágalo-calcáneo (AAC).⁷ La afectación de la faceta posterior fue estimada para decidir si la barra era resecable de acuerdo al protocolo utilizado

en nuestro servicio.¹ En aquellos pacientes que presentaban una coalición que afectaba menos de 50% de la faceta posterior se indicó resección de la misma. Si el AAC era mayor a 16 grados se indicó realineación asociada. Si el paciente presentaba además una supinación rígida del antepié, se agregó una osteotomía de la primera cuña.

En todos los pacientes a los que se les indicó tratamiento quirúrgico se realizaron reconstrucciones tridimensionales a partir de las imágenes tomográficas utilizando el programa Mimics® 16 Materialise. En aquellos casos que requirieron realineación con osteotomías, la planificación se llevó a cabo con el programa 3-matic® Medical versión 8 Materialise. Posteriormente, se fabricaron biomodelos en PLA (ácido poliláctico) con una impresora de tecnología FDM (modelado por deposición fundida) Ultimaker 3. Los archivos digitales fueron preparados para la fabricación con el programa Ultimaker Cura 3.6.

RESULTADOS

Se evaluaron cinco pacientes consecutivos (seis pies). La edad promedio fue de 13.2 ± 1.3 años. Cinco pies no habían recibido tratamiento quirúrgico previo y un pie presentaba una resección fallida. Las características demográficas de los pacientes intervenidos se describen en la *Tabla 1*.

Los modelos fueron obtenidos a escala real (proporción 1:1). La impresión de los biomodelos permitió determinar exactamente el grado de afectación de la faceta posterior, el plano de resección de la coalición, la magnitud de la deformidad del pie y, en caso de ser necesario, planificar las osteotomías para la realineación del mismo. En cuatro pies se planificó la resección de la coalición asociada a realineación (*Figura 1A-D*), en un pie la resección aislada y en el restante una revisión de la resección. No se presentaron complicaciones postoperatorias. Ningún paciente requirió cirugías adicionales. Al último seguimiento (promedio 13 meses, rango 6-24 meses) todos los pacientes se encontraban asintomáticos, con mayor movilidad que la preoperatoria y conformes con el procedimiento realizado.

DISCUSIÓN

El tratamiento quirúrgico de las coaliciones astrágalo-calcáneas requiere una planificación preoperatoria meticulosa

y una ejecución muy precisa. Los datos proporcionados por los estudios prequirúrgicos (radiografías, tomografía computarizada, resonancia magnética) requieren que el cirujano desarrolle una imagen mental tridimensional de la patoanatomía para ser aplicada durante la cirugía.

Algunos autores han sugerido la utilización de TAC intraoperatoria o navegación para aumentar la precisión de la resección. Kemppainen y colaboradores⁴ compararon 26 pies sometidos a resecciones de CAC (12 pies sin TAC intraoperatoria y 14 pies con TAC intraoperatoria). De acuerdo con los autores, la calidad de la resección fue superior en el grupo con TAC intraoperatoria y en 21% de los pies llevó a un cambio en la toma de decisiones que incluyó mayor resección. Milbrandt⁸ y Noonan⁹ descri-

bieron la aplicación de navegación intraoperatoria en dos reportes de casos. Ambas técnicas presentan desventajas significativas como un mayor costo, la necesidad de tecnología no disponible en centros con menores recursos, mayor tiempo quirúrgico y el marcado incremento de radiación.

La impresión 3D ha demostrado ser una herramienta valiosa en cirugías ortopédicas que implican una anatomía compleja como malformaciones congénitas, lesiones tumorales osteomioarticulares, fracturas de pelvis o periartriculares, patologías de columna, arthroplastias de revisión y secuelas de trauma o infecciones.^{9,10} Los biomodelos impresos en 3D pueden simplificar este ejercicio mental y proporcionar una representación realista, tangible y



Figura 1:

Paciente de 13 años de edad con dolor de pie izquierdo y entorsis de tobillo a repetición, manejado inicialmente con tratamiento conservador. **A)** Radiografía de frente, perfil y proyección de Saltzman.

B) Tomografía computarizada en la que se aprecia CAC tipo II (lineal con gancho posterior) y correcta alineación del retropié. **C)** Biomodelo 3D en el que se proyecta el plano de resección de la coalición y los márgenes de articulación subastragalina no afectada por la coalición. **D)** Imagen intraoperatoria luego de la resección y al comprobar la movilidad con el separador de láminas.

Tabla 1: Datos demográficos.

Caso	Edad	Sexo	Lado	Tipo barra*	Tratamiento previo	Cirugía realizada	Dolor	Movilidad
1	14	M	D	III	Quirúrgico (resección fallida)	Revisión de resección CAC e interposición grasa autóloga glúteo	(-)	(+)
2*	12	M	I	IV	Conservador	Resección CAC e interposición grasa autóloga glúteo + osteotomía elongación columna externa calcáneo + elongación TA y PLC	(-)	(+)
3*	12	M	D	IV	Conservador	Resección CAC e interposición grasa autóloga glúteo + osteotomía elongación columna externa calcáneo + elongación TA y PLC	(-)	(+)
4	15	M	D	IV	No	Resección CAC e interposición grasa autóloga glúteo + osteotomía elongación columna externa calcáneo + osteotomía deslizamiento medial calcáneo + osteotomía Cotton + elongación TA y PLC	(-)	(+)
5	14	F	D	II	No	Resección CAC e interposición grasa autóloga glúteo + osteotomía elongación columna externa calcáneo + osteotomía deslizamiento medial calcáneo + osteotomía Cotton + elongación TA y PLC	(-)	(+)
6	13	M	I	II	Conservador	Resección CAC e interposición grasa autóloga glúteo	(-)	(+)

* Mismo paciente.

M = masculino, F = femenino, D = derecho, I = izquierdo, CAC = coalición astrágalo-calcánea, TA = tendón de Aquiles, PLC = peroneo lateral corto.

De acuerdo con la clasificación de Rozansky y cols.⁶

fácil de usar. Además, las impresoras 3D tienen un costo cada vez menor, lo cual las convierte en una tecnología accesible. Puntualmente, en el pie ha sido utilizada para la planificación de fracturas y deformidades complejas.¹¹⁻¹⁴ Al analizar la literatura, sólo dos trabajos mencionan la utilización de impresión 3D en el tratamiento de coaliciones tarsianas. De Wouters y su equipo¹⁵ evaluaron nueve pacientes con edades comprendidas entre los 11 y 21 años que presentaban coaliciones CE y AC tratados con resección de la coalición utilizando biomodelos 3D y guías de corte específicamente diseñadas para cada paciente. En todos los casos utilizaron aloinjerto de fascia lata como material de interposición. A un seguimiento promedio de 17.9 meses (rango 12 a 37 meses) ningún paciente presentaba recidiva y se encontraban asintomáticos luego de retornar a la actividad. De manera reciente, Sobrón y sus colegas¹⁶ detallaron más extensamente el uso de biomodelos y guías de corte en esta patología, describiendo algunos aspectos técnicos en coaliciones tipo III y IV, que son aquellas que presentan mayor dificultad durante la resección. En nuestra serie no utilizamos guías de corte. Creemos que estas guías son de gran utilidad para aumentar la precisión en la corrección de secuelas o deformidades complejas de los miembros. Sin embargo, para la resección de una coalición, consideramos que no tendrían el mismo beneficio, ya que el plano

de la resección puede ser determinado preoperatoria e intraoperatoriamente con el biomodelo. Por otra parte, requeriría ampliar la incisión para tener el espacio suficiente para la colocación de las mismas, lo que implica una mayor morbilidad.

Este estudio debe ser considerado dentro de sus limitaciones. Si bien los pacientes fueron recolectados de manera prospectiva, la serie es pequeña y el seguimiento es corto para demostrar resultados funcionales. El estudio ideal sería comparar dos cohortes de pacientes con CAC. No obstante, los beneficios de esta tecnología son difíciles de demostrar objetivamente en esta patología debido a la gran variabilidad de presentación en cuanto al grado de afectación de la faceta posterior, tipo de coalición (fibrosa, cartilaginosa u ósea), degeneración de la articulación subastragalina y deformidad asociada. Para disminuir esta subjetividad, estudios a futuro podrían evaluar diferencias en el tiempo quirúrgico, pérdida de sangre y tiempo de radioscopia, aunque la muestra necesaria en una patología infrecuente y tan variable excedería las posibilidades de un solo centro. A pesar de estas limitaciones, consideramos que este estudio aporta información sobre las ventajas de la impresión 3D en una aplicación poco descripta. A medida que esta tecnología evolucione y se vuelva más accesible, es probable que se convierta en un componente estándar de muchos procedimientos ortopédicos.

CONCLUSIÓN

La utilización de biomodelos tridimensionales facilita el planeamiento prequirúrgico, lo cual permite trasladar un planeamiento virtual en uno más tangible. Potencialmente, una planificación de mejor calidad podría disminuir el tiempo de cirugía y permitiría una corrección más precisa de la deformidad. Se requiere de nuevos estudios para determinar si estas hipótesis son correctas.

REFERENCIAS

1. Kothari A, Masquijo JJ. Surgical treatment of tarsal coalitions in children and adolescents. *EFORT Open Rev*. 2020; 5(2): 80-89. doi: 10.1302/2058-5241.5.180106.
2. Stormont DM, Peterson HA. The relative incidence of tarsal coalition. *Clin Orthop Relat Res*. 1983; 181: 28-36.
3. Masquijo JJ, Jarvis J. Associated talocalcaneal and calcaneonavicular coalitions in the same foot. *J Pediatr Orthop B*. 2010; 19(6): 507-510. doi: 10.1097/BPB.0b013e32833ce484.
4. Kemppainen J, Pennock AT, Roocroft JH, Bastrom TP, Mubarak SJ. The use of a portable CT scanner for the intraoperative assessment of talocalcaneal coalition resections. *J Pediatr Orthop*. 2014; 34(5): 559-564. doi: 10.1097/BPO.00000000000000176.
5. Aibinder WR, Young EY, Milbrandt TA. Intraoperative three-dimensional navigation for talocalcaneal coalition resection. *J Foot Ankle Surg*. 2017; 56(5): 1091-1094. doi: 10.1053/j.jfas.2017.05.046.
6. Rozansky A, Varley E, Moor M, Wenger DR, Mubarak SJ. A radiologic classification of talocalcaneal coalitions based on 3D reconstruction. *J Child Orthop*. 2010; 4(2): 129-135.
7. Masquijo JJ, Tourn D, Torres-Gomez A. Reliability of the talocalcaneal angle for the evaluation of hindfoot alignment. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2019; 63(1): 20-23. doi: 10.1016/j.recot.2018.08.003.
8. Stokman JJ, Mitchell J, Noonan K. Subtalar coalition resection utilizing live navigation: a technique tip. *J Child Orthop*. 2018; 12(1): 42-46. doi: 10.1302/1863-2548.12.170131.
9. Weidert S, Andress S, Suero E, Becker C, Hartel M, Behle M et al. 3D printing in orthopedic and trauma surgery education and training: possibilities and fields of application. *Unfallchirurg*. 2019; 122(6): 444-451. doi: 10.1007/s00113-019-0650-8.
10. Jiang M, Chen G, Coles-Black J, Chuen J, Hardidge A. Three-dimensional printing in orthopaedic preoperative planning improves intraoperative metrics: a systematic review. *ANZ J Surg*. 2020; 90(3): 243-250. doi: 10.1111/ans.15549.
11. Chung KJ, Huang B, Choi CH, Park YW, Kim HN. Utility of 3D printing for complex distal tibial fractures and malleolar avulsion fractures: technical tip. *Foot Ankle Int*. 2015; 36(12): 1504-1510. doi: 10.1177/1071100715595695.
12. Schepers T, Misselyn D. 3D printing calcaneal fractures: continuously improving our care by making a complex problem tangible. *J Invest Surg*. 2018; 31(6): 568-569. doi: 10.1080/08941939.2017.1369607.
13. Jastifer JR, Gustafson PA. Three-dimensional printing and surgical simulation for preoperative planning of deformity correction in foot and ankle surgery. *J Foot Ankle Surg*. 2017; 56(1): 191-195. doi: 10.1053/j.jfas.2016.01.052.
14. Chen G, Han Q, Liu H, Zhang H, Jiang Z, Feng N et al. Accurate osteotomy for the treatment of a rare case of postaxial polydactyly of the foot that originated from a deformed calcaneus using a 3D-printed guiding plate. *J Foot Ankle Surg*. 2019; 58(1): 171-175. doi: 10.1053/j.jfas.2018.07.003.
15. de Wouters S, Tran Duy K, Docquier PL. Patient-specific instruments for surgical resection of painful tarsal coalition in adolescents. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2014; 100(4): 423-427. doi: 10.1016/j.otsr.2014.02.009.
16. Sobrón FB, Benjumea A, Alonso MB, Parra G, Pérez-Mañanes R, Vaquero J. 3D printing surgical guide for talocalcaneal coalition resection: technique tip. *Foot Ankle Int*. 2019; 40(6): 727-732. doi: 10.1177/1071100719833665.