

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias de la Salud

**Modificación 3D del dispositivo de Kishigami como alternativa
para la inestabilidad atlantoaxial. Reporte de un caso clínico.**

Paula Martina Freire Freire

Medicina Veterinaria

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
MÉDICO VETERINARIO

Quito, 4 de mayo de 2025

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias de la Salud

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Modificación 3D del dispositivo de Kishigami como alternativa
para la inestabilidad atlantoaxial. Reporte de un caso clínico.**

Paula Martina Freire Freire

Nombre del profesor, Título académico

Lenin Vinueza DMVZ, M.Sc, PhD

Quito, 4 de mayo de 2025

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Paula Martina Freire Freire

Código: 00321022

Cédula de identidad: 1752712032

Lugar y fecha: Quito, 4 de mayo de 2025

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a quienes han sido parte esencial de este proceso académico y personal.

A mi mamá, por ser mi pilar constante, mi mayor apoyo y fuerza incondicional en cada etapa de este camino. A mi abuelita, que aunque no llegó a verme graduar, siempre estuvo presente con su amor, apoyo y sabiduría, siendo mi segunda madre y mi refugio. A mi abuelito, por creer en mí desde el primer momento y motivarme con su ejemplo. A mi tío Tito y a mi tía Sofy especialmente, por nunca dejarme sola y estar presente siempre que la necesité.

A mis compañeritos de vida, Moncho y Chuza, por acompañarme silenciosamente en las madrugadas de estudio, darme paz en los momentos difíciles y recordarme lo valioso del amor incondicional.

A mis amigos, mi grupo Euta, los que la universidad me regaló, por convertirse en una parte fundamental de esta etapa. Gracias por hacer de todo este proceso algo más llevadero, divertido e inolvidable.

Y a mi tutor de tesis, Javier Rodríguez, por guiarme con paciencia, entusiasmo y compromiso. Gracias por ser no solo un excelente profesor, sino también una persona que admiro y aprecio profundamente.

A todos ustedes, gracias por caminar conmigo hasta aquí.

RESUMEN

La inestabilidad atlantoaxial es una patología compleja de la columna cervical que implica inestabilidad entre C1 y C2. Las técnicas quirúrgicas convencionales presentan limitaciones en cuanto a precisión y adaptación anatómica. Este trabajo presenta un caso clínico tratado con una innovadora modificación tridimensional del dispositivo de Kishigami, diseñada específicamente para mejorar la reducción y estabilización atlantoaxial.

Se empleó una metodología basada en imágenes preoperatorias detalladas, planificación quirúrgica en 3D y diseño personalizado del implante, el cual fue fabricado mediante impresión 3D. Esta tecnología permitió un abordaje más preciso y mínimamente invasivo.

Los resultados postoperatorios mostraron una reducción anatómica satisfactoria, buena estabilización articular y recuperación funcional progresiva. La personalización del implante permitió una mejor adaptación a la anatomía del paciente, minimizando complicaciones.

Además, el uso de biopolímeros como PEEK y PLA, con alta biocompatibilidad y resistencia mecánica, mejoró la estabilidad del implante y facilitó la osteointegración. En conjunto, la tecnología 3D y los materiales avanzados ofrecen una alternativa eficaz y segura frente a los métodos quirúrgicos tradicionales.

Palabras clave: Inestabilidad atlantoaxial, impresión 3D, dispositivo de Kishigami, innovación quirúrgica, intervención ortopédica personalizada, biopolímeros, neurocirugía veterinaria.

ABSTRACT

Atlantoaxial instability is a complex cervical spine pathology involving instability between the C1 and C2 vertebrae. Traditional surgical techniques often present limitations in anatomical precision and patient-specific adaptation. This clinical case report presents an innovative three-dimensional modification of the Kishigami device, specifically designed to improve reduction and stabilization of atlantoaxial luxation.

A single-case study methodology was employed, including detailed preoperative imaging, computer-assisted 3D surgical planning, and personalized implant design. The device was manufactured using advanced 3D printing technology, enabling a more precise and minimally invasive surgical approach.

Postoperative outcomes demonstrated successful anatomical reduction, effective joint stabilization, and progressive functional recovery. The customized 3D-printed implant showed improved adaptability to the patient's anatomy, potentially representing a significant advancement in the surgical management of this condition.

Moreover, the use of biopolymers such as polyether ether ketone (PEEK) and polylactic acid (PLA), materials with high biocompatibility, mechanical strength, and osteointegrative potential, contributed to enhanced implant stability and minimal inflammatory response, facilitating postoperative recovery. These materials, combined with the precision and personalization of 3D printing, offer a promising alternative to conventional techniques, with improved long-term outcomes.

Key words: Atlantoaxial instability, 3D printing, Kishigami device, surgical innovation, personalized orthopedic intervention, biopolymers, veterinary neurosurgery.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	10
Metodología	14
1. Revisión de fichas médicas e historial clínico	
2. Revisión bibliográfica sobre la patología	
3. Planificación quirúrgica	
4. Diseño y planificación del implante 3D	
5. Intervención quirúrgica	
6. Seguimiento postoperatorio	
Resultados	17
Discusión.....	20
Conclusiones	25
Referencias bibliográficas.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura #1. Paciente canino macho de 1 año y medio que presenta signos neurológicos	16
Figura #2. Diseño del implante 3D personalizado en PEEK	16
Figura #3. Aplicación del implante en el paciente	17
Figura #4. Radiografía lateral post quirúrgica de la región torácica del paciente	18

INTRODUCCIÓN

La inestabilidad atlantoaxial (IAA) es una de las lesiones neurológicas más importantes que se presentan en el ámbito de la medicina veterinaria, siendo más frecuente en perros de razas pequeñas y braquicéfalas como chihuahuas, yorkshire terriers, pomeranias y toy poodles (Child, 2013; Da Costa & Dewey, 2016). Esta patología se caracteriza por la inestabilidad entre el atlas (c1) y el axis (c2). En la mayoría de los casos, se presenta como consecuencia de malformaciones congénitas, donde se evidencia una hipoplasia del diente del axis o la ausencia de los ligamentos estabilizadores que, en condiciones normales, mantienen la articulación en su lugar anatómico (Slanina, 2016; Wininger, 2017).

Desde un punto de vista clínico, los signos pueden ser tan leves como un dolor cervical o tan severos como déficits neurológicos intensos, provocando así, tetraparesia o tetraplejia, afectando de manera significativa la calidad de vida del animal (Kim et al., 2023). Las opciones de tratamiento pueden ser conservadoras o quirúrgicas. Sin embargo, las estrategias no invasivas, casi nunca alcanzan la resolución definitiva y están restringidas a casos leves. De hecho, la cirugía es el tratamiento elegido en pacientes que presentan signos neurológicos progresivos (Vilkovysky et al., 2023).

El objetivo quirúrgico es lograr una estabilización atlantoaxial sólida con retención de tornillos o alambres fijos, o con un dispositivo kishigami, que ha demostrado ser una opción prometedora a pesar de complicaciones como migración del implante, falla de fijación o infecciones postoperatorias (Pujol et al., 2010). Además, en el contexto de otras regiones del cuerpo, los cambios en las tecnologías de imágenes médicas, el modelado digital y la impresión 3d han mejorado las capacidades en la personalización de instrumentos quirúrgicos mediante

el desarrollo de implantes personalizados según el paciente (Altwal et al., 2022; Castel et al., 2024).

Estas tecnologías emergentes fomentan la propuesta de la modificación del diseño kishigami, basadas en impresiones 3d, para mejorar la biomecánica del implante mientras se reduce la tasa de complicaciones y se mejoran los resultados clínicos a largo plazo (Lee et al., 2024). Dado que la LAA afecta más comúnmente a razas predispuestas que comparten rasgos anatómicos particulares, la posibilidad de diseñar implantes individualizados no solo simplifica la planificación quirúrgica facilitada por la precisión, sino que también puede acelerar significativamente la recuperación (Daungsupawong & Wiwanitkit, 2025).

Una de las ventajas adicionales del uso de tecnología 3d en medicina veterinaria es la posibilidad de biocompatibilidad del 3D PLA, PEEK y PCL, ya que se pueden fabricar elementos injertables a partir de polímeros a nanoscala que poseen las ventajas de ser altamente biocompatibles, poco tóxicos y una buena integración con el tejido óseo (Bose et al., 2013; Zhang et al., 2023). Además de permitir el acoplamiento de elementos en componentes estructurales de diferente morfología, esos materiales presentan ductilidad que los hace capaces de ser implantados en dorsos y soportarlos longitudinalmente.

Además, el uso de bioaditivos mejora la funcionalidad ortopédica de estos polímeros al fusionarse con nanopartículas o al obtener recubrimientos bioactivos, ya que disminuye la inflamación y mejora la osteointegración (Loughin & Marino, 2016; Ngo et al., 2018). A partir de estas funciones y características se reconoce a los biopolímeros como una alternativa asequible para el diseño de implantes a medida, especialmente en pequeños pacientes donde el uso de metales resulta invasivo.

El avance en el diseño personalizado de implantes con biopolímeros y tecnología de impresión 3D no solo representa un progreso técnico, sino también una herramienta transformadora para la medicina veterinaria moderna. Su aplicabilidad en pacientes de tamaño pequeño, la reducción del riesgo quirúrgico y el potencial de adaptación anatómica precisa permiten ofrecer soluciones más seguras, menos invasivas y con mejores resultados funcionales. Esta tecnología tiene el potencial de ampliar el acceso a intervenciones complejas, facilitando tratamientos de alta precisión en entornos clínicos donde antes eran limitados por el costo o la complejidad de los materiales convencionales.

El objetivo del presente trabajo se basa en el estudio de un caso clínico correspondiente a un chihuahua de un año y medio de edad, cuyo motivo de consulta fue tetraparesia ambulatoria acompañada de dolor cervical. El diagnóstico de inestabilidad atlantoaxial congénita, asociada a aplasia del diente del axis, pérdida de ligamentos atlantoaxiales y aumento de la distancia entre el arco de C1 y C2, se realizó a partir de estudios por imagen tales como radiografía y tomografía computarizada. Debido a estos hallazgos, se realizó una planificación quirúrgica, y, de manera concreta, se utilizó reconstrucción tridimensional mediante tomografía computarizada, planeando construir un implante que se pudiera adaptar a la geometría del paciente. Este caso clínico demuestra de forma práctica el aprovechamiento de la tecnología 3D como herramienta quirúrgica de precisión y evidencia que se debe continuar investigando la viabilidad de estas tecnologías como método alternativo a los tradicionales en la estabilización atlantoaxial.

A partir de lo anterior, se plantea como **objetivo general** evaluar la viabilidad y eficacia de una modificación tridimensional (3D) del dispositivo de Kishigami como alternativa

quirúrgica para la estabilización atlantoaxial en perros, analizando su impacto en la estabilidad biomecánica y la recuperación neurológica del paciente.

Los **objetivos específicos** que guían este trabajo son:

1. Describir el caso clínico de un perro Chihuahua diagnosticado con inestabilidad atlantoaxial congénita, detallando su presentación neurológica, hallazgos imagenológicos y proceso de planificación quirúrgica.
2. Implementar un implante personalizado impreso en 3D, basado en la modificación del dispositivo de Kishigami, y evaluar su comportamiento intraoperatorio y postoperatorio.
3. Analizar la evolución clínica del paciente, incluyendo recuperación neurológica, control del dolor y funcionalidad motora, durante el periodo de seguimiento postquirúrgico.
4. Comparar la efectividad y ventajas del implante 3D modificado con técnicas quirúrgicas convencionales de estabilización atlantoaxial, a través del análisis crítico de literatura científica y evidencia disponible.

METODOLOGÍA

1. Revisión de fichas médicas e historial clínico

Se recopiló y analizó el historial clínico completo del paciente que fue atendido en la clínica veterinaria, con el fin de establecer un diagnóstico definitivo y planificar el abordaje quirúrgico de manera específica. La información obtenida incluyó antecedentes clínicos relevantes, signos observados durante la consulta, y resultados de los exámenes complementarios de imagenología, como radiografías y tomografía computarizada. Este trabajo corresponde a un estudio descriptivo, de enfoque cualitativo, basado en un único caso clínico, lo cual permitió explorar con profundidad la aplicabilidad y eficacia de una técnica quirúrgica personalizada. La información fue esencial para realizar un análisis comparativo con otras técnicas quirúrgicas descritas en la literatura, y para diseñar un plan quirúrgico adaptado a la morfología y necesidades particulares del paciente.

2. Revisión bibliográfica sobre la patología

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva con el fin de contextualizar la patología, identificar avances recientes en su manejo quirúrgico y respaldar científicamente la modificación tridimensional del dispositivo de Kishigami. Para ello, se consultaron diversas bases de datos académicas reconocidas, como Elsevier, PubMed y Google Scholar. Además, se revisaron textos de referencia en neurología y cirugía veterinaria, entre ellos: *Advanced Techniques in Canine and Feline Neurosurgery*, *Current techniques in Canine and Feline Neurosurgery* y *Practical Guide to Canine and Feline Neurology 3rd Edition*.

La búsqueda se enfocó en artículos científicos, reportes de casos clínicos y revisiones sistemáticas publicadas en los últimos 15 años. Para ampliar la cobertura temática, se

utilizaron palabras clave en español e inglés, tales como: *inestabilidad atlantoaxial*, *atlantoaxial instability*, *atlantoaxial subluxation in dogs*, *Kishigami device*, *3D printing veterinary implants*, *veterinary neurosurgery*, entre otros.

Los criterios de inclusión se centraron en estudios que abordaran aspectos clínicos, diagnóstico, tratamiento y evolución postoperatoria de la inestabilidad atlantoaxial en perros, especialmente en razas pequeñas. La información recolectada fue organizada y simplificada para identificar patrones y estrategias quirúrgicas comparables para aplicar al caso clínico en cuestión.

3. Planificación quirúrgica

Con base en la tomografía, se generaron reconstrucciones 3D del cráneo y columna cervical usando Horos. Esto permitió evaluar ángulos de inserción, grosor óseo y longitud del alambre, anticipando posibles complicaciones y diseñando un abordaje dorsal más seguro. De igual manera, se realizaron exámenes pre quirúrgicos para conocer el estado general del animal y disminuir los riesgos de la anestesia general.

4. Diseño y fabricación del implante 3D

Utilizando Blender, se diseñó un implante personalizado basado en el dispositivo de Kishigami. Se imprimió en PEEK, un biopolímero de alta resistencia y biocompatibilidad. La impresión 3D permitió una adaptación anatómica, redujo los tiempos quirúrgicos y facilitó una colocación precisa.

5. Intervención quirúrgica

Bajo anestesia intravenosa parcial (PIVA), se realizó un abordaje dorsal. Se colocó el implante en la región dorsal entre el hueso occipital u el atlas y sobre la apófisis espinosa del axis, fijándolo con un cerclaje con alambre quirúrgico de 6 mm en figura de ocho. La cirugía duró 2 horas y media, y se siguieron estrictos protocolos para evitar daño medular.

6. Seguimiento postoperatorio

Se instauró un protocolo para manejo del dolor con medicación, acompañado de fisioterapia dos veces por semana durante 2 semanas y reposo relativo por 15 días. Se tomaron radiografías postoperatorias para verificar la fijación y se realizaron revisiones constantes del estado neurológico y evolución del paciente.

RESULTADOS

El paciente, un Chihuahua macho de 1 año y medio, fue ingresado con signos neurológicos graves, incluyendo tetraparesia, ausencia de movilidad en los miembros anteriores y propiocepción disminuida (Figura 1). A partir del chequeo clínico e imagenológico, mediante tomografía computarizada, se diagnosticó una inestabilidad atlantoaxial congénita, caracterizada por aplasia del diente del axis con pérdida de los ligamentos atlantoaxiales y aumento de la distancia entre el arco de C1 y C2. La planificación quirúrgica, basada en una reconstrucción 3D de la tomografía computarizada, permitió diseñar un implante a medida en PEEK, adaptado a las necesidades específicas del paciente (Figura 2).

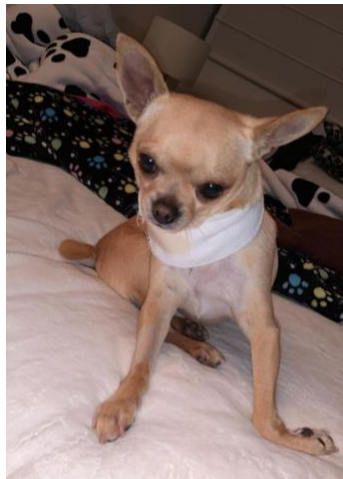


Figura 1. Chihuahua macho de 1 año y medio que presenta signos neurológicos, tetraparesia y falta de propiocepción. Clínica Veterinaria Brasil, 2025.

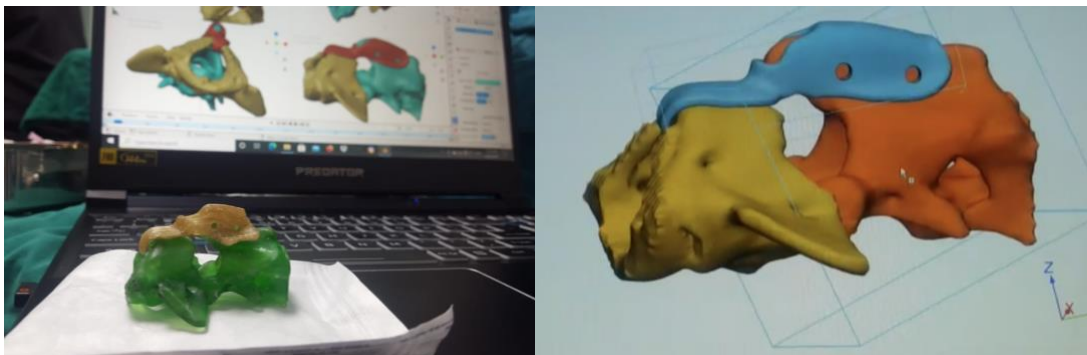


Figura 2. Diseño del implante 3D personalizado en PEEK, basado en la tomografía computarizada. AXIS 3D, 2025.

La cirugía se realizó bajo anestesia intravenosa parcial (PIVA) con monitoreo constante. Se administró como premedicación ketamina y dexmedetomidina, seguido, se indujo al paciente con propofol, y se mantuvo la anestesia con isoflurano, lidocaína y remifentanilo en infusión. El procedimiento tuvo una duración de 2 horas y media.

Mediante un abordaje dorsal, se disecaron cuidadosamente los músculos paravertebrales dorsales (incluidos el esplenio, semiespinoso y longísimo del cuello), exponiendo así, las vértebras C1 y C2. Se aplicó el implante 3D, la parte craneal se acopla en el foramen entre el hueso occipital y atlas, y su parte posterior se incrusta sobre la apófisis espinosa del axis. Se realizaron dos perforaciones con una broca de 2 mm en la parte craneal del proceso espinoso de C2, para pasar un alambre quirúrgico de 6 mm, formando un cerclaje en figura de ocho que permitió fijar firmemente el implante y reducir la inestabilidad de la articulación (Figura 3). No se manipuló directamente la médula espinal, lo que redujo el riesgo de daño neurológico.



Figura 3. Aplicación del implante dentro del foramen del atlas y sobre la apófisis espinosa del axis, usando un alambre y un cerclaje en forma de ocho para alinear y estabilizar la inestabilidad. Clínica Veterinaria Brasil, 2025.

El cierre se realizó por planos y el paciente fue trasladado a recuperación. En el postoperatorio inmediato, se observó estabilidad neurológica sin formación de fístulas ni dolor cervical.

Se indicó manejo médico postoperatorio que incluyó Cefadroxilo por 10 días (30 mg/kg BID), Rimadyl (carprofeno) por 5 días (2.2 mg/kg SID) y fisioterapia dos veces por semana durante dos semanas. También se estableció un protocolo de reposo relativo por 15 días. El reposo consistía en restringir actividades que necesiten mucho movimiento como saltar, jugar o subir escaleras.

Se realizaron radiografías postoperatorias que confirmaron que tanto el implante como el cerclaje se encontraban posicionados de manera correcta, sin desplazamientos ni signos de rechazo (Figura 4). Durante todo el periodo de recuperación no se presentaron fistulas, infecciones, ni dolor postquirúrgico evidente, lo que sugiere una excelente biocompatibilidad del implante y una integración adecuada al tejido óseo. El paciente comenzó a recuperar la movilidad de forma progresiva, y al haber pasado 3 semanas, caminaba de forma independiente, sin signos de dolor ni complicaciones.

Estos hallazgos respaldan la eficacia de la modificación del dispositivo de Kishigami en impresión 3D como una alternativa funcional, segura y bien tolerada en el tratamiento de la inestabilidad atlantoaxial congénita.



Figura 4. Radiografías post cirugía para verificar la posición y ubicación del implante.
Clínica Veterinaria Brasil, 2025.

DISCUSIÓN

La inestabilidad atlantoaxial (IAA) es un trastorno neurológico congénito o adquirido que suele afectar a razas caninas pequeñas. Su tratamiento supone un reto quirúrgico significativo debido al sitio de la lesión situado en la región cervical y su cercanía con la médula espinal (Child, 2013; Da Costa & Dewey, 2016). Con el transcurso del tiempo, han surgido varias técnicas quirúrgicas destinadas a estabilizar la articulación atlantoaxial y evitar la compresión medular.

Dentro de los métodos convencionales, se incluyen técnicas como la fijación ventral transarticular mediante tornillos o pines, el uso de cerclajes, y procedimientos de fusión dorsal con placas o injertos óseos (Barillaro et al., 2025; Forterre et al., 2023). Aunque estas técnicas han mostrado ser efectivas, presentan limitaciones que se deben tomar en cuenta. Es así como, la fijación transarticular con tornillos requiere una colocación extremadamente exacta para prevenir daños en las estructuras medulares, y pueden existir complicaciones incluyendo la migración del implante, infecciones u osteólisis (Slanina, 2016). Por otro lado, la fusión dorsal demanda un mayor manejo quirúrgico y no siempre resulta factible en pacientes de tamaño pequeño debido al acceso restringido a las estructuras vertebrales.

En comparación a otros estudios en la literatura que señalan el empleo del enfoque ventral como la alternativa más adecuada para estabilizar la articulación atlantoaxial, en esta situación se decidió utilizar un enfoque dorsal. Esta opción técnica tiene pros y contras al llevar a cabo una comparación. El abordaje ventral facilita un acceso directo a la articulación atlantoaxial y facilita la instalación de tornillos o cerclajes alrededor de las vértebras; no obstante, conlleva un incremento en el peligro de complicaciones intraoperatorias, como lesiones al esófago, tráquea o vasos cervicales (Shores & Brisson, 2023). En en contraste, el

enfoque dorsal, implementado en este caso, reduce el peligro de daño a estructuras esenciales del cuello, brinda una correcta visualización del arco del atlas y la apófisis del axis, y es más compatible con implantes como la impresión 3D del dispositivo de Kishigami. Sin embargo, este enfoque puede limitar el acceso a la articulación desde su posición ventral y requiere fijarla con precisión para evitar desplazamientos del implante a corto o largo plazo.

La técnica de Kishigami, desarrollada originalmente en Japón, ofrece una alternativa dorsal que no invade el canal medular. Se trata de una estructura de metal que envuelve el atlas y se sujeta al axis mediante cerclajes, ofreciendo una fijación fuera de las articulaciones (Pujol et al., 2010). Aún así, este aparato con múltiples componentes necesita ser ajustado de manera manual durante el procedimiento quirúrgico, lo que podría poner en riesgo su estabilidad y elevar la probabilidad de la aparición de problemas si no se ajusta adecuadamente a la anatomía del paciente.

En esta situación, la alteración tridimensional del aparato de Kishigami a través de tecnologías de impresión 3D constituye una alternativa quirúrgica revolucionaria. En este caso particular, se elaboró un implante a medida basándose en una reconstrucción tomográfica 3D del cráneo y columna cervical del paciente, un Chihuahua de 1 año y medio diagnosticado con inestabilidad atlantoaxial congénita, que se manifiesta por aplasia del diente del axis, pérdida de los ligamentos atlantoaxiales y aumento de la separación entre los arcos de C1 y C2. La prótesis se diseñó para encajar dentro del foramen del atlas y estabilizarse sobre la apófisis espinosa del axis, fijada con un cerclaje en 8 para lograr alineación y estabilidad óptimas.

Algo que se destaca y sobresale en este caso, es el uso de biopolímeros biocompatibles, como el PEEK (poliéter éter cetona) o variantes modificadas de PLA (ácido poliláctico). Estos, han probado tener una excelente estabilidad mecánica, resistencia al cansancio y poca

reactividad inflamatoria, además de facilitar la osteointegración (Fujita & Nishimura, 2016). Cada vez se utilizan más estos materiales en la medicina humana y veterinaria, no solo por sus características mecánicas, sino también por su habilidad para ser esterilizados y moldeados con exactitud mediante la impresión 3D (Haleem & Javaid, 2019; Pike et al., 2011).

En comparación con los métodos convencionales, la técnica propuesta en este estudio presenta múltiples ventajas como una mayor precisión y adaptación a la anatomía, esto debido a la personalización del diseño. Asimismo, se disminuye el tiempo quirúrgico y hay una menor manipulación durante la cirugía, aumentando al mismo tiempo una mejor distribución biomecánica de las fuerzas cervicales. De la misma manera, se reduce el riesgo de errores de colocación o implantes mal ajustados, y se hace uso de materiales más ligeros, resistentes y bioseguros que los metales tradicionales.

No obstante, también se deben considerar posibles complicaciones, como la fractura o aflojamiento del cerclaje, una mala adaptación del implante si no se realiza un buen diseño digital, o la reabsorción ósea si no hay una integración adecuada. A pesar de esto, en el caso clínico tratado no se presentaron complicaciones postoperatorias, y el paciente mostró una recuperación progresiva satisfactoria, pues, no se evidenciaron fistulas ni signos de dolor, lo que sugiere una buena integración del implante y una evolución clínica favorable. De igual forma, las sesiones de fisioterapia se llevaron a cabo de manera exitosa. Siendo esta, una parte esencial del proceso post operatorio (Thomas et al., 2014).

La utilización de la impresión 3D y los biopolímeros promete ser una solución conveniente, pues esta ofrece una mejora significativa en el pronóstico a largo plazo de los pacientes, en comparación con otros protocolos (Kim et al., 2023). La personalización del implante permite una mejor adaptación a la anatomía específica del paciente, lo que puede

reducir los riesgos de complicaciones crónicas como la fractura del implante o el rechazo óseo, al igual que facilita una recuperación más rápida y un mejor pronóstico a largo plazo, según un estudio de Lee et al. (2024).

La modificación 3D del dispositivo de Kishigami no es la única innovación reciente en la cirugía de IAA. Otros enfoques, como el uso de materiales de hidroxapatita y recubrimientos biomiméticos, también están siendo explorados para mejorar la osteointegración y reducir el rechazo de los implantes (Fujita & Nishimura, 2016). Estos avances prometen una mayor durabilidad de los implantes y una mejor integración con el hueso del paciente. Sin embargo, la flexibilidad y capacidad de personalización de los biopolímeros impresos en 3D siguen siendo una ventaja en términos de adaptabilidad y precisión anatómica.

Es importante mencionar que el uso de tecnologías avanzadas, como la impresión 3D y los biopolímeros, puede implicar un costo más alto en comparación con las técnicas convencionales. Sin embargo, la costo-efectividad de estas tecnologías podría justificarse por la mejora en la calidad de vida del paciente y la reducción de las complicaciones postoperatorias, lo que podría disminuir la necesidad de intervenciones adicionales con el paso del tiempo (Pike et al., 2011).

A pesar del progreso logrado, se necesitan más estudios en el futuro para valorar la duración de los implantes 3D hechos a medida en modelos animales y humanos. Se requiere mayor investigación sobre la integración de materiales como PEEK y PLA en huesos pequeños y cómo los distintos diseños podrían afectar la biomecánica a largo plazo. Además, sería pertinente comparar estos nuevos dispositivos con implantes metálicos tradicionales en términos de costo, funcionalidad y resultados duraderos.

No obstante, es fundamental considerar los posibles riesgos asociados a esta metodología. Entre ellos destacan la fractura del implante bajo cargas biomecánicas inadecuadas, el aflojamiento por errores en el diseño o la impresión, y la falta de osteointegración si el material no presenta la bioactividad requerida. Un aspecto crítico en la estabilización atlantoaxial es el riesgo de compresión o lesión medular, particularmente en razas pequeñas donde el espacio anatómico es limitado. En este caso, la elección de un implante delgado y personalizado, adaptado a la anatomía del paciente mediante reconstrucción 3D, permitió reducir significativamente dicho riesgo, al evitar invasión del canal medular y disminuir la manipulación intraoperatoria.

Para asegurar resultados clínicos seguros y reproducibles, es indispensable una planificación quirúrgica detallada, un diseño digital preciso, la esterilización adecuada de los biopolímeros y la experiencia técnica del equipo quirúrgico. Solo bajo estas condiciones es posible minimizar efectos secundarios y garantizar la eficacia de esta innovadora estrategia quirúrgica.

CONCLUSIONES

Para concluir, el abordaje dorsal, combinado con un implante 3D fabricado en biopolímeros como PEEK, permitió una estabilización y fijación adecuadas sin comprometer estructuras vitales del cuello, lo que facilitó la recuperación neurológica progresiva del paciente. Estos materiales, además de ser biocompatibles y resistentes, ofrecen una alternativa más segura y adaptable que los metales tradicionales, reforzando la viabilidad de su uso en neurocirugía veterinaria.

A pesar de los resultados exitosos obtenidos, es necesario continuar con estudios a largo plazo y con una mayor muestra de casos clínicos, para evaluar la durabilidad, integración ósea, comportamiento biomecánico y posible evolución de complicaciones en el tiempo, así como para comparar esta técnica con otras opciones quirúrgicas tradicionales.

En resumen, si bien las técnicas quirúrgicas tradicionales han mostrado resultados efectivos en el manejo de la inestabilidad atlantoaxial, la implementación de una modificación personalizada en 3D del dispositivo de Kishigami, elaborada con biopolímeros biocompatibles, constituye un avance significativo en la cirugía vertebral veterinaria. Esta alternativa no solo refuerza la estabilidad biomecánica del sistema de fijación, sino que también favorece una planificación quirúrgica más precisa, disminuye los riesgos intraoperatorios y postoperatorios, y potencialmente mejora la calidad de vida del paciente. La integración de precisión anatómica, nuevos materiales y diseño individualizado abre el camino a nuevas estrategias terapéuticas frente a esta compleja afección en perros de raza pequeña.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altwal, J., Wilson, C. H., & Griffon, D. J. (2022). Applications of 3-dimensional printing in small-animal surgery: A review of current practices. *Veterinary Surgery*, 51(1), 34-51. <https://doi.org/10.1111/vsu.13739>
- Barillaro, G., Tabbi, M., Minniti, S., Iannelli, N. M., Macrì, F., & Interlandi, C. (2025). Treatment of Canine Atlantoaxial Subluxation with a Modified Cervical Distraction–Stabilization Technique and Clinical Outcomes. *Animals*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/ani15050716>
- Bose, S., Vahabzadeh, S., & Bandyopadhyay, A. (2013). Bone tissue engineering using 3D printing. *Materials Today*, 16(12), 496-504. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2013.11.017>
- Castel, A. M. H., Gagnon, D., & Lussier, B. (2024). The Use of Three-dimensional (3D) Printing in Small Animal Surgery. En D. J. Bakker, D. M. dos A. Pires, P. C. Soares, & P. R. Payan-Carreira (Eds.), *New Trends in Veterinary Practice*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.115026>
- Child, G. (2013). BSAVA manual of canine and feline neurology. 4th edn. Edited by S Platt and N Olby. British Small Animal Veterinary Association, Gloucester, 2013. 552 pages. Price A\$170. ISBN 9781905319343. *Australian Veterinary Journal*, 91. <https://doi.org/10.1111/avj.12109>
- Da Costa, R. C., (role)edt, & Dewey, C. W., (role)edt. (2016). *Practical guide to canine and feline neurology* (Third edition.). Chichester. <http://lib.ugent.be/catalog/rug01:002305582>

- Daungsupawong, H., & Wiwanitkit, V. (2025). Application of 3D printing in veterinarian science. *Research in Veterinary Science*, 186, 105571.
<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2025.105571>
- Forterre, F., Zorgevica-Pockevica, L., Precht, C., Haenssger, K., Stein, V., & Düver, P. (2023). Clinical Evaluation of a New Surgical Augmentation Technique for Transarticular Atlantoaxial Fixation for Treatment of Atlantoaxial Instability. *Animals*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/ani13111780>
- Fujita, A., & Nishimura, R. (2016). Surgical stabilization of the atlanto-occipital overlap with atlanto-axial instability in a dog. *The Japanese journal of veterinary research*, 64, 141-145. <https://doi.org/10.14943/jjvr.64.2.141>
- Haleem, A., & Javaid, M. (2019). Polyether ether ketone (PEEK) and its 3D printed implants applications in medical field: An overview. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 7(4), 571-577. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.01.003>
- KIM, D., LEE, S., & KIM, G. (2023). Application of a Modified Dorsal Wiring Method in Toy Breed Dogs With Atlantoaxial Subluxation. *In Vivo*, 37(1), 247-251.
<https://doi.org/10.21873/invivo.13074>
- Lee, S., Yi, K., Kim, N., & Heo, S. (2024). Evaluation of a 3D-Printed Reduction Guide for Minimally Invasive Plate Osteosynthesis of Short Oblique Radial Diaphyseal Fracture in Dogs: A Cadaveric Study. *Veterinary Sciences*, 11(4).
<https://doi.org/10.3390/vetsci11040145>
- Loughin, C. A., & Marino, D. J. (2016). Atlantooccipital Overlap and Other Craniocervical Junction Abnormalities in Dogs. *Congenital Abnormalities of the Skull, Vertebral Column, and Central Nervous System*, 46(2), 243-251.
<https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2015.10.008>

- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
- Pike, F., Kumar, M. S., & Boudrieau, R. (2011). Reduction and Fixation of Cranial Cervical Fracture/Luxations using Screws and Polymethylmethacrylate (PMMA) Cement: A Distraction Technique Applied to the Base of the Skull in Thirteen Dogs. *Veterinary Surgery*, 41(2), 235-247. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2011.00916.x>
- PUJOL, E., BOUVY, B., OMAÑA, M., FORTUNY, M., RIERA, L., & PUJOL, P. (2010). Use of the Kishigami Atlantoaxial Tension Band in Eight Toy Breed Dogs with Atlantoaxial Subluxation. *Veterinary Surgery*, 39(1), 35-42.
<https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2009.00613.x>
- Slanina, M. C. (2016). Atlantoaxial Instability. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 46(2), 265-275. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2015.10.005>
- Thomas, W. B., Olby, N., & Sharon, L. (2014). 34—Neurologic Conditions and Physical Rehabilitation of the Neurologic Patient. En D. Millis & D. Levine (Eds.), *Canine Rehabilitation and Physical Therapy (Second Edition)* (pp. 609-627). W.B. Saunders.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-0309-2.00034-X>
- Vilkovysky, I., Rusnak, I., Yagnikov, S., Sakhno, N., & Seleznev, S. (2023). Analysis of surgical correction of atlantoaxial instability in dogs. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 18, 241-249. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2023-18-2-241-249>
- Wininger, F. (2017). Atlantoaxial Subluxation. En *Current Techniques in Canine and Feline Neurosurgery* (pp. 139-148). <https://doi.org/10.1002/9781118711545.ch15>

Zhang, Q., Zhou, J., Zhi, P., Liu, L., Liu, C., Fang, A., & Zhang, Q. (2023). 3D printing method for bone tissue engineering scaffold. *Medicine in Novel Technology and Devices*, 17, 100205. <https://doi.org/10.1016/j.medntd.2022.100205>