

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ
FACULTAD DE MEDICINA
TRABAJO FIN DE GRADO EN PODOLOGÍA



**Técnicas y hallazgos en las pruebas de imagen en el
pie plano**

AUTOR: ROJO SÁNCHEZ, AZAHARA

TUTOR: ARENAS JIMENEZ, JUAN JOSE

Curso académico: 2023 - 2024

Convocatoria de Junio

Índice de contenidos

Resumen y palabras clave.....	6
Abstract and keywords.....	8
Introducción.....	10
Hipótesis.....	12
Objetivo.....	12
Material y métodos.....	12
Resultados.....	14
Discusión.....	25
Conclusión.....	30
Referencias bibliográficas.....	31



Índice de tablas

Tabla 1 - Tipos de estudio.....	15
Tabla 2 - Objetivos.....	17
Tabla 3 - Metodología.....	19



Abreviaturas

TCEC: Tomografía Computarizada de Haz Cónico en carga

WBCT: Weight-Bearing Computed Tomography (Tomografía Computarizada de Haz Cónico en carga)

CBCT: Cone-Beam Computed Tomography (Tomografía Computarizada de Haz Cónico)

WBCT CHAA: WBCT Clinical Hindfoot Alignment Angle (Ángulo de alineación del retropié clínico por CBCT)

TASJA: Tibial Axis/Subtalar Joint Angle (Ángulo del Eje Tibial/Articulación Subtalar)

TACTA: Tibial Axis/Calcaneal Tuberosity Angle (Ángulo del Eje Tibial/Tuberosidad Calcánea)

ATCTA: Tibial Axis/Calcaneal Tuberosity Angle (Ángulo del Eje Tibial/Tuberosidad Calcánea)

MF%: Middle facet uncoverage percentage (Porcentaje de descubrimiento de la faceta media)

MF°: Middle facet incongruence angle (Ángulo de incongruencia de la faceta media)

FAO: Foot Ankle Offset (Desplazamiento del tobillo del pie)

TNCA: Talonavicular coverage angle (Ángulo de cobertura talonavicular)

HAA: Hindfoot Alignment Angle (Ángulo de Alineación del Retropié)

TNO: Talonavicular Overlap (Superposición Talonavicular)

TCO: Talocalcaneal Overlap (Superposición Talocalcaneal)

PCFD: Progressive Collapsing Foot Deformity (Deformidad Progresiva Colapsante del Pie)

AAFD: Adult Acquired Flatfoot Deformity (Deformidad del pie plano adquirido en adultos)

ICC: Intraclass Correlation Coefficient (Coeficiente de Correlación Intraclase)

FPI: Foot Posture Index (Índice Postural del Pie)

FFAA: Forefoot Arch Angle (Ángulo del Arco del Antepié)

TM1S: Talar-First Metatarsal Sagittal Angle (Ángulo sagital del astrágalo-primer metatarsiano)

HMA: Hindfoot Moment Arm (Brazo de momento del retropié)

CO: Calcaneal Offset (Desplazamiento del calcáneo)

MFU: Medial facet uncoverage (Descubrimiento de la faceta medial)

Resumen y palabras clave

Introducción: La tomografía computarizada ha sido fundamental para reconstruir segmentos anatómicos en tres dimensiones, pero su limitación en la captura de imágenes en descarga dificultaba el diagnóstico de pie plano. La tomografía computarizada de haz cónico realizada en carga (TCEC) combina los beneficios de técnicas anteriores en una sola, ofreciendo alta resolución, menor exposición a la radiación y menor costo.

Hipótesis: Las mediciones de pie plano con TCEC demuestran mayor fiabilidad que las radiografías.

Objetivo: Identificar qué medidas en TCEC presentan mayor evidencia científica para el diagnóstico de pie plano.

Metodología: Se establecieron criterios de inclusión para revisar estudios en TCEC, excluyendo pacientes con cirugía previa, menores de edad y estudios mayores a 5 años. La búsqueda se realizó en ScienceDirect y PubMed.

Resultados: Se encontraron mediciones fiables, como el Ángulo de Alineación del Retropié Clínico (TCEC CHAA), el Ángulo del Eje Tibial (TACTA) y el Ángulo del Eje Tibial (TASJA), que han demostrado alta correlación y fiabilidad. Las mediciones tridimensionales del área de cobertura articular en las articulaciones del pie, muestran resultados consistentes y eficaces, con reducciones significativas en cobertura articular observadas en varias condiciones. Además, mediciones como la no cobertura de la faceta media de la articulación subastragalina (MF%) y el desplazamiento del pie y tobillo (FAO) destacan por su alta sensibilidad en la detección de deformidades, mientras que el ángulo de cobertura talonavicular (TNCA) muestra una alta especificidad.

Conclusión: Aunque las medidas varían entre los diferentes estudios, la TCEC permite obtener medidas fiables para la evaluación del pie plano.

Las palabras clave: Tomografía computarizada de haz cónico en carga (WBCT), Pie plano, Radiodiagnóstico, Evaluación clínica



Abstract and keywords

Introduction: Computed tomography has been pivotal in reconstructing anatomical segments in three dimensions, but its limitation in capturing weight-bearing images hindered flatfoot diagnosis. Cone beam computed tomography combines the benefits of previous techniques into one, offering high resolution, reduced radiation exposure, and lower cost.

Hypothesis: Flatfoot measurements with WBCT demonstrate higher reliability than radiographs.

Objective: To identify which WBCT measurements present stronger scientific evidence for flatfoot diagnosis.

Methodology: Inclusion criteria were established to review WBCT studies, excluding patients with prior surgery, minors, and studies over 5 years old. The search was conducted on ScienceDirect and PubMed.

Results: Reliable measurements were found, such as the Weight-Bearing Computed Tomography Clinical Hindfoot Alignment Angle (WBCT CHAA), Tibial Axis-Calcaneal Tuberosity Angle (TACTA), and Tibial Axis-Subtalar Joint Angle (TASJA), which have shown high correlation and reliability. Three-dimensional measurements of joint coverage area in foot joints show consistent and effective results, with significant reductions in joint coverage observed in various conditions. Additionally, measurements such as the Middle Facet Uncoverage Percentage (MF%) and Foot and Ankle Displacement (FAO) stand out for their high sensitivity in detecting deformities, while the Talonavicular Coverage Angle (TNCA) exhibits high specificity.

Conclusion: Conclusion: Although the measurements vary between different studies, the WBCT allows for obtaining reliable measurements for the assessment of flat feet.

Keywords: Weight bearing cone beam computed tomography (WBCT), Flatfoot, Radiodiagnosis, Clinical evaluation.



Introducción

En los últimos años, la tomografía computarizada se ha empleado para reconstruir y medir segmentos anatómicos en tres dimensiones. Sin embargo, esta técnica únicamente se podía realizar en descarga. Debido a que el pie adopta diferentes posiciones con y sin carga, esto complicaba la planificación de posibles intervenciones quirúrgicas, ya que las mediciones no reflejaban fielmente la realidad. Para obtener mediciones bajo carga, tradicionalmente se han utilizado radiografías (1) , lo que puede limitar la visualización tridimensional de las estructuras. Por esta razón, la tomografía computarizada de haz cónico en carga ha surgido recientemente ya que combina los beneficios de las metodologías previas en una sola técnica. Estos dispositivos utilizan una fuente de rayos X que se encuentra frente a un detector de silicio digital altamente sensible. Lo que los distingue de otras formas de tomografía es su capacidad para capturar imágenes tridimensionales de alta resolución con una sola rotación alrededor del objeto o área de interés. La información recopilada por el detector se envía a una computadora, que utiliza algoritmos avanzados para reconstruir una imagen tridimensional detallada del área escaneada. Los tiempos de exploración suelen ser más cortos en comparación con otras formas de tomografía. Esto reduce la exposición del paciente a la radiación y mejora la eficiencia del proceso, también tiene un menor costo y un equipo de tamaño reducido. Esta técnica comenzó para aplicaciones orales y maxilofaciales en 1998. Más adelante se utilizó para el sistema musculoesquelético en 2011 y hasta el 2013 no se realizó con carga de peso. (2)

La deformidad progresiva colapsante del pie (PCFD, por sus siglas en inglés) es un trastorno caracterizado por un conjunto de deformidades del pie. Inicialmente se asociaba sólo con la disfunción del tendón tibial posterior, pero diferentes estructuras, tanto de tejidos blandos como óseas, también pueden verse afectadas. Esto resulta en una deformidad que puede incluir el aplanamiento del pie, migración plantar y medial de la cabeza del astrágalo,

abducción del pie en la articulación talonavicular, desplazamiento de la articulación del mediopié y valgo del retropié. (3)

El avance en esta nueva técnica podría aportar mayor precisión en el diagnóstico de pie plano, y con ello, mejora en los resultados quirúrgicos para el tratamiento del mismo. Por ello, se decidió realizar esta investigación.



Hipótesis

Las mediciones de radiodiagnóstico de pie plano con la técnica TCEC demuestran mayor fiabilidad que las mediciones en radiografías.

Objetivo

Conocer qué medidas en la técnica TCEC presentan mayor evidencia científica para el diagnóstico de pie plano.

Material y métodos



Se trata de un estudio de revisión bibliográfica para lo cual se han considerado los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Para incluir los estudios se exige:

- Estudio que realicen mediciones del pie con la técnica TCEC
- Mediciones con el paciente en carga
- Pacientes >18 años
- Pacientes diagnosticados de PCFD o con sintomatologías de esta patología

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Pacientes tratados de alguna deformidad con cirugía

- Pacientes en edad infantil
- Estudios de más de 5 años
- Estudios que no realicen mediciones en pacientes diagnosticados de PCFD o con sintomatología de esta patología.

SISTEMA DE RECOGIDA DE DATOS

ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

La búsqueda se realizó en ScienceDirect y PubMed utilizando las palabras clave: "WBCT" "FLATFOOT" "DIAGNOSIS" "ADULT"

Se utilizó como filtro que fueran estudios de los últimos 5 años. Al realizar la búsqueda en la primera base de datos, se obtuvieron un total de 19 resultados, que tras pasar los criterios de inclusión y exclusión, finalmente se utilizaron 7.

En la base de datos PubMed se realizó el siguiente método de búsqueda: (((WBCT) AND (flatfoot)) AND (diagnosis)) AND (adult). Se aplicó un filtro que abarcaba los últimos 5 años (2019 - 2024) y resultó en un total de 12 artículos, que tras excluir los duplicados con la anterior base de datos y tras aplicar los criterios de exclusión e inclusión, no utilizamos ningún artículo adicional de esta base de datos.

Resultados

Autor/es	Año	Tipo de estudio	Población	Definición de caso
Cesar Netto C, et al. (4)	2019	Prospectivo	Pacientes con AAFD (casos): 30 pacientes Controles: 30 pacientes	Pacientes con diagnóstico clínico de AAFD flexible sintomática en etapa II
Knutson K, et al. (5)	2023	Retrospectivo	Pacientes con PCFD: 20 pacientes (flexible 10, rígido 10) Controles saludables: 27	Pacientes con PCFD que no respondieron a tratamiento conservador. Distinción flexible-rígido.
Fayed A, Mallavarapu V, et al. (6)	2023	Retrospectivo	Pacientes con PCFD (casos): 32 pacientes	Pacientes con PCFD incluidos en una base de datos de TCEC 01/01/2018 - 31/12/2020
Shakoor	2021	Prospectivo	20 pacientes con	Se realizó TCEC a

D, et al. (7)			AAFD	un pie de cada paciente, 15 derechos, 5 izquierdos.
Cesar Netto C, et al. (8)	2019	Prospectivo	19 pacientes (13 pies derechos, 6 pies izquierdos)	Pacientes diagnosticados de AAFD flexible con sintomatología
Lintz F, et al. (9)	2021	retrospectivo	28 pies con PCFD sintomático (23 pacientes) y 28 controles (28 pacientes)	Estos pacientes presentaron síntomas y fueron diagnosticados clínicamente con PCFD
Patel S, et al. (10)	2020	prospectivo	66 pies en 33 pacientes	Pacientes con pie plano tras realización de FPI. Todos los pacientes se le realizó TCEC de manera bilateral.

Tabla 1 - Tipos de estudio

Autor/es	Año	OBJETIVO DEL ESTUDIO
Cesar Netto C, et al. (4)	2019	determinar qué método de medición proporciona una evaluación más precisa y confiable de la alineación del retropié en pacientes con AFFD
Knutson K, et al. (5)	2023	<ul style="list-style-type: none"> - Cuantificar las diferencias en la cobertura de las áreas articulares entre individuos sanos y pacientes con deformidad progresiva del pie (PCFD por sus siglas en inglés) - Correlacionar los valores de cobertura con medidas clínicamente relevantes comúnmente evaluadas a partir de radiografías convencionales - Establecer qué medidas podrían ayudar a identificar la cobertura articular peritalar en individuos con PCFD.
Fayed A, Mallavarapu V, et al. (6)	2023	evaluar cómo cada componente de la deformidad del pie progresiva (PCFD) se ve influenciado por otras deformidades utilizando medidas angulares
Shakoor D, et al. (7)	2021	comparar la fiabilidad de las mediciones de deformidad del pie adquirida en adultos (AAFD) obtenidas mediante radiografías en carga y tomografías computarizadas cónicas en carga (CBCT)

Cesar Netto C, et al. (8)	2019	evaluar la fiabilidad intra e interobservador de las mediciones de deformidad del pie adquirida en adultos (AAFD) realizadas por investigadores con diferentes niveles de experiencia clínica utilizando imágenes de tomografía computarizada en carga (TCEC)
Lintz F, et al. (9)	2021	evaluar la precisión diagnóstica tanto de las mediciones tradicionales bidimensionales (2D) como tridimensionales (3D) de tomografía computarizada de haz cónico (TCEC) en carga en la Deformidad Progresiva del Pie Colapsante (PCFD)
Patel S, et al. (10)	2020	investigar la correlación entre la herramienta de evaluación clínica Índice de Postura del Pie (FPI, por sus siglas en inglés) y las mediciones semiautomáticas tridimensionales (también conocidas como biometría 3D) del alineamiento del pie obtenidas a partir de tomografía computarizada (TC) en carga

Tabla 2 - Objetivos

Autor/es	Año	METODOLOGÍA
Cesar Netto C, et al. (4)	2019	Diagnóstico clínico vs TCEC

Knutson K, et al. (5)	2023	Se compara el uso de medidas bidimensionales (2D) derivadas de imágenes de tomografía computarizada (CT) con las medidas tridimensionales (3D) derivadas de la TCEC
Fayed A, Mallavarapu V, et al. (6)	2023	El artículo utiliza la tomografía computarizada ponderada en carga (TCEC) para evaluar la deformidad progresiva del pie (PCFD) mediante la medición de varios parámetros en 3D
Shakoor D, et al. (7)	2021	Este estudio utiliza radiografías de carga para evaluar la deformidad del pie adquirida en adultos (AAFD) y compara estas mediciones con imágenes de tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) de carga
Cesar Netto C, et al. (8)	2019	Este estudio utiliza tomografía computarizada

		de haz cónico en carga (TCEC) de carga para evaluar la deformidad del pie adquirida en adultos (AAFD) en comparación con radiografías de carga.
Lintz F, et al. (9)	2021	El estudio compara mediciones 2D y 3D de TCEC para evaluar la precisión diagnóstica en la deformidad del pie.
Patel S, et al. (10)	2020	FPI VS 3D CT

Tabla 3 - Metodología

En el estudio “Hindfoot alignment of adult acquired flatfoot deformity: A comparison of clinical assessment and weightbearing cone beam CT examinations” (4), el Ángulo de Alineación del Retropié Clínico en CBCT (WBCT CHAA) muestra un valor medio de 9.9°, con un error estándar de 0.53° y un intervalo de confianza del 95% que va desde 8.9° hasta 11°. Esto indica una medida precisa con una cierta variabilidad en su estimación. Por otro lado, el Ángulo del Eje Tibial/Tuberosidad Calcánea (TACTA) presenta un valor medio de 6.1°, con un error estándar de 0.86° y un intervalo de confianza del 95% que oscila entre 4.3° y 7.8°. Asimismo, el Ángulo del Eje Tibial/Articulación Subastragalina (TASJA) tiene un valor medio de 7.0°, con un error estándar de 0.88° y un intervalo de confianza del 95% que va desde 5.3° hasta 8.8°. Estas mediciones presentan alta correlación con otras mediciones: HAA - WBCT CHAA ; WBCT CHAA - ATCTA ; HAA - TACTA ; Alineación clínica - TACTA ; HAA - TASJA ; Alineación clínica - TASJA con un valor p de <0.0001.

En el segundo estudio, “Joint Coverage Analysis in Progressive Collapsing Foot Deformity” (5) se obtuvo que en la cobertura talocrural, se encontró una reducción del área de cobertura articular fibular dentro de la articulación tibiofibular para el grupo de PCFD flexible, con una disminución del 36% ($p < .001$). Por otro lado, se observó un aumento del área de la misma cobertura articular para el grupo de PCFD rígido en comparación con el grupo flexible, con un incremento del 30% en la tibia ($p < .001$).

En cuanto a la articulación subastragalina, se encontraron múltiples reducciones significativas en la cobertura del astrágalo y el calcáneo en las facetas antero-medial y posterior para el grupo de PCFD rígido. Por ejemplo, se registró una reducción del 52% en la cobertura del astrágalo y del 47% en la cobertura del calcáneo en la faceta antero-medial (ambas con $p < .001$). Además, se observó una correlación negativa significativa con TNO (superposición talonavicular; Valor $R = -0.53$) y TCO (superposición talocalcaneal; Valor $R = -0.51$). Similarmente, se evidenció una disminución del 32% en la cobertura del astrágalo y del 34% en la cobertura del calcáneo en la faceta posterior para el grupo de PCFD rígido, junto con una reducción del 27% en la cobertura del calcáneo en la faceta posterior para el grupo de PCFD flexible (todos con $p < .001$).

En relación con la cobertura del Complejo Articular de Chopart, se identificaron importantes reducciones en el área de cobertura tanto del astrágalo dentro de la articulación talonavicular (TN) como del calcáneo dentro de la articulación calcaneocuboidea (CC) para el grupo de PCFD rígido en comparación con los participantes sanos, ambas con una disminución del 20% ($p < .001$). Además, se encontró una correlación negativa significativa con TNO (Valor $R = -0.62$) en el caso de la TN.

Por otra parte, el artículo “Deformities Influencing Different Classes in Progressive Collapsing Foot” (6) se realizó comparaciones entre diferentes clases según la medición que se estaba realizando. Por ejemplo, al comparar la Clase D (descubrimiento de la faceta media (MFU)) con la Clase B (Ángulo de cobertura talonavicular (TNCA)), se observa una correlación positiva notable, con un coeficiente de correlación de $\rho=0.74$ y un coeficiente de determinación de $R^2=0.613$, indicando una relación sólida entre estas dos variables. Además, se encuentra una asociación similarmente fuerte entre la Clase D (MFU) y la Clase C (Ángulo de Meary), con un coeficiente de correlación de $\rho=0.75$ y un coeficiente de determinación de $R^2=0.559$, lo que sugiere una conexión importante entre el descubrimiento de la faceta media y el ángulo de Meary. Por otro lado, al comparar la Clase C (Ángulo de Meary) con la Clase A (Brazo de momento del retropié (HMA)), se encuentra una correlación positiva significativa, con un coeficiente de correlación de $\rho=0.71$ y un coeficiente de determinación de $R^2=0.576$, lo que señala una relación substancial entre el ángulo de Meary y el brazo de momento del retropié. Estas asociaciones se ven respaldadas por un valor de p muy bajo ($p=0.001$), lo que indica una alta confiabilidad en los resultados obtenidos.

En el artículo “Weight-bearing radiographs and cone-beam computed tomography examinations in adult acquired flatfoot deformity” (7), el análisis comparativo de las mediciones obtenidas a través de radiografías simples entre dos lectores reveló una alta concordancia interobservador. Por ejemplo, la distancia del cuboides al suelo mostró un ICC de 0.89, con un intervalo de confianza del 95% de 0.69 a 0.96 y un valor de $p < 0.001$, lo que indica una consistencia notable entre las mediciones realizadas por ambos lectores. Similarmente, el ángulo de inclinación del calcáneo presentó un ICC de 0.90, con un intervalo de confianza del 95% de 0.69 a 0.97 y un valor de $p < 0.001$, destacando la alta fiabilidad de estas mediciones. Sin embargo, el ángulo talar-primer articulación metatarsiana mostró una concordancia interobservador ligeramente menor, con un ICC de

0.74, y un intervalo de confianza del 95% de 0.17 a 0.92, pero aún así significativo con un valor de $p < 0.001$.

Por otro lado, al comparar las mediciones obtenidas mediante radiografías simples con las obtenidas mediante CBCT, se observó una concordancia algo menor pero aún notable. Los coeficientes de correlación intraclase (ICC) oscilaron entre 0.62 y 0.70, con intervalos de confianza del 95% que van desde 0.12 a 0.90, y valores de p que van desde 0.002 a 0.009. Estos resultados indican una relación significativa entre las mediciones realizadas con ambos métodos, aunque la variabilidad entre ellos sugiere la necesidad de considerar las características específicas de cada técnica al interpretar los resultados clínicos.

En "Influence of investigator experience on reliability of adult acquired flatfoot deformity measurements using weight bearing computed tomography" (8) se realizó un estudio comparando diferentes mediciones realizadas por diferentes evaluadores. En cuanto a la distancia del navicular a la piel, se encontraron correlaciones positivas muy altas, con coeficientes de Pearson/Spearman de 0.99 para el cirujano certificado en pie y tobillo, 0.97 para el residente de cirugía ortopédica y 0.96 para el estudiante de medicina, todos con valores de $p < 0.001$. Similarmente, la distancia del navicular al suelo también mostró correlaciones muy altas, con coeficientes de Pearson/Spearman de 0.98, 0.99 y 0.96 respectivamente, y todos con valores de $p < 0.001$. En cuanto a la distancia del cuneiforme medial a la piel, se observaron correlaciones igualmente altas, con coeficientes de Pearson/Spearman de 0.99, 0.98 y 0.96 respectivamente, y todos con valores de $p < 0.001$. Del mismo modo, la distancia del cuneiforme medial al suelo mostró correlaciones muy altas, con coeficientes de Pearson/Spearman de 0.99, 0.98 y 0.98 respectivamente, y todos con valores de $p < 0.001$.

Otro de los resultados fue “Diagnostic accuracy of measurements in progressive collapsing foot deformity using weight bearing computed tomography: A matched case-control study” (9) en el que el porcentaje de no cobertura de la faceta media de la articulación subastragalina (MF%) mostró una fiabilidad interobservador del 92% y una fiabilidad intraobservador del 96%, junto con una sensibilidad del 100% y una especificidad del 92.8%. Similarmente, el desplazamiento del pie y el tobillo (FAO) mostró una fiabilidad interobservador del 95% y una fiabilidad intraobservador del 96%, con una sensibilidad del 89.2% y una especificidad del 100%, lo que sugiere una herramienta altamente confiable y precisa. Por otro lado, el ángulo del arco del antepié (FFAA) exhibió una fiabilidad interobservador del 95% y una fiabilidad intraobservador del 97%, con una sensibilidad del 85.7% y una especificidad del 82.1%, lo que indica una fiabilidad alta pero con una sensibilidad ligeramente menor. En contraste, el ángulo de incongruencia de la faceta media de la articulación subastragalina (MF°) mostró una fiabilidad interobservador del 70% y una fiabilidad intraobservador del 88%, con una sensibilidad del 78.5% y una especificidad del 96.4%, sugiriendo una fiabilidad moderada pero una sensibilidad más baja. Además, el ángulo sagital del astrágalo-primer metatarsiano (TM1S) exhibió una alta fiabilidad con valores de interobservador e intraobservador del 94% y 96% respectivamente, pero una sensibilidad del 78.5% y una especificidad del 85.7%. Finalmente, el ángulo de cobertura talonavicular (TNCA) mostró una muy alta fiabilidad con valores de interobservador e intraobservador del 96% y 97% respectivamente, pero una sensibilidad del 60.7% y una especificidad del 96.4%, lo que sugiere una herramienta altamente confiable pero con una sensibilidad relativamente baja.

Finalmente, en el artículo “Relationship between foot posture index and weight bearing computed tomography 3D biometrics to define foot alignment” (10) se obtuvo que el Índice Postural del Pie (FPI) demostró una excelente fiabilidad con coeficientes interclase de 0.989 y 0.941 para los evaluadores 1 y 2 respectivamente, mientras que el Desplazamiento del

Pie y el Tobillo (FAO) exhibió coeficientes interclase aún más altos de 0.996 y 0.964 para los mismos evaluadores. Además, tanto el Desplazamiento del Calcáneo (CO) como el Ángulo de Alineación del Retropié (HAA) mostraron una alta consistencia entre evaluadores, con coeficientes interclase superiores a 0.9 en ambos casos. Esta alta fiabilidad entre evaluadores proporciona una base sólida para la interpretación precisa de las mediciones realizadas.

Al explorar la relación entre estas variables, se identificaron correlaciones significativas y positivas entre el FPI y el FAO, el FPI y el CO, así como entre el FPI y el HAA. Estas asociaciones resaltan la interconexión entre diferentes aspectos de la alineación del pie y el tobillo, lo que sugiere la utilidad de considerar múltiples mediciones en la evaluación clínica. (10)

Además, al realizar un análisis de subgrupos, se observaron diferencias significativas en las mediciones promedio de FPI y FAO entre los grupos de alineación normal, varo y valgo. Dentro de cada grupo, se encontraron asociaciones moderadas a fuertes entre estas variables. (10)

Discusión

El radiodiagnóstico del pie plano en adultos requiere un análisis de las mediciones específicas que permiten evaluar la condición con precisión. Para ello, es necesario encontrar que las mediciones tengan una alta fiabilidad intra e interobservador y que así, el resultado sea lo más parecido a la realidad y que sea eficaz, por lo que la medición realmente nos permita el diagnóstico del pie plano.

Entre estas mediciones, se encuentran el Ángulo de Alineación del Retropié Clínico en TCEC (WBCT CHAA), el Ángulo del Eje Tibial/Tuberosidad Calcánea (TACTA) y el Ángulo del Eje Tibial/Articulación Subastragalina (TASJA). La alta correlación observada entre estas mediciones y un intervalo de confianza tan estrecho nos indica una alta fiabilidad y eficacia.

(4)

También se realizaron mediciones tridimensionales para evaluar el área de cobertura de la articulación en diferentes articulaciones del pie, mostrando resultados de alta fiabilidad y eficacia. En la articulación talocrural, el PCFD flexible demostró una reducción en el área de cobertura articular fibular, mientras que el PCFD rígido mostró un aumento en el área de cobertura articular en la tibia. En la articulación subastragalina, el PCFD rígido evidenció reducciones significativas en la cobertura del astrágalo y el calcáneo en las facetas antero-medial y posterior, que además esta última medición muestra correlación negativa con superposición talocalcaneal y talonavicular, mostrando alta eficacia. Asimismo, en el complejo articular de Chopart, el PCFD rígido demostró reducciones en el área de cobertura tanto del astrágalo dentro de la articulación talonavicular como del calcáneo dentro de la articulación calcaneocuboidea. (5)

Se encontraron mediciones eficaces para el diagnóstico de pie plano debido a las correlaciones significativas y consistentes que se observan entre diferentes variables. Por ejemplo, al comparar la Clase D (descubrimiento de la faceta media (MFU)) con la Clase B (Ángulo de cobertura talonavicular (TNCA)), se observa una correlación positiva notable, lo que sugiere una conexión entre estas dos variables. Lo mismo ocurre al comparar la Clase D (MFU) con la Clase C (Ángulo de Meary) y la Clase C (Ángulo de Meary) con la Clase A (Brazo de momento del retropié (HMA)) donde también se encuentra una asociación fuerte. Estas asociaciones indican relaciones consistentes que se traduce en una alta eficacia en el diagnóstico del pie plano. Además, el valor de p muy bajo ($p=0.001$) sugiere una alta confiabilidad en los resultados obtenidos, lo que aumenta la validez de estas mediciones como herramientas diagnósticas. (6)

Los hallazgos de varios estudios indican una alta fiabilidad en las mediciones realizadas por diferentes evaluadores en varias mediciones relacionadas con la alineación del pie y el tobillo. Por ejemplo, en el primer estudio (4), se encontró una alta correlación entre mediciones como el Ángulo de Alineación del Retropié Clínico en CBCT (WBCT CHAA) y el Ángulo del Eje Tibial/Tuberosidad Calcánea (TACTA), con un valor p de <0.0001 . Además, el tercer artículo (6) reveló asociaciones sólidas entre diferentes clases de deformidades, destacando la correlación entre el descubrimiento de la faceta media y el ángulo de Meary, con un valor de p muy bajo ($p=0.001$). Además, el sexto artículo (9) mostró una alta fiabilidad en mediciones como el porcentaje de no cobertura de la faceta media de la articulación subastragalina (MF%) y el desplazamiento del pie y el tobillo (FAO), con una fiabilidad interobservador del 92% y 95% respectivamente. Estos resultados sugieren una consistencia notable entre diferentes mediciones realizadas por diversos evaluadores, respaldando la confiabilidad de las mediciones y su utilidad en la evaluación clínica.

Por otra parte, se ha observado una alta fiabilidad y concordancia interobservador de ciertas mediciones obtenidas a través de radiografías simples, como la distancia del cuboides al suelo, el ángulo de inclinación del calcáneo y ángulo talar-primera articulación metatarsiana.

Esta consistencia notable entre las mediciones realizadas por ambos lectores resalta la fiabilidad de estas mediciones. Al comparar las mediciones obtenidas mediante radiografías simples con las obtenidas mediante TCEC, se revela que existen mediciones con alta fiabilidad en TCEC. Se cree que al comparar radiografía y TCEC existe poca correlación, posiblemente debido a que el TCEC muestra mediciones más fiables. Esto podría deberse a la capacidad de realizar mediciones tridimensionales y así existir un rango de error menor en TCEC. (7)

Otro estudio (8) reveló correlaciones positivas muy altas en varias mediciones realizadas por diferentes evaluadores. Específicamente, las mediciones relacionadas con la distancia del navicular y del cuneiforme medial tanto a la piel como al suelo demostraron una consistencia notable entre los evaluadores, con coeficientes de correlación Pearson/Spearman superiores a 0.95 en todos los casos. Estas mediciones, que incluyen la distancia del navicular a la piel y al suelo, así como la distancia del cuneiforme medial tanto a la piel como al suelo, destacan por su alta fiabilidad interobservador, lo que sugiere una precisión consistente en la evaluación de la deformidad del pie plano adquirido en adultos mediante tomografía computarizada en carga.

La no cobertura de la faceta media de la articulación subastragalina (MF%) y el desplazamiento del pie y el tobillo (FAO) destacaron como las mediciones con la sensibilidad más alta, alcanzando valores del 100% y del 89.2% respectivamente, lo que sugiere una detección efectiva de deformidades. En cuanto a la especificidad, el ángulo de cobertura talonavicular (TNCA) mostró la mayor especificidad con un valor del 96.4%, seguido por el ángulo de incongruencia de la faceta media de la articulación subastragalina (MF°) y el ángulo sagital del astrágalo-primer metatarsiano (TM1S) con valores del 96.4% y del 85.7% respectivamente. (9)

Se ha demostrado una excelente fiabilidad en el Índice Postural del Pie (FPI) con coeficientes interclase altos entre evaluadores, al igual que en el Desplazamiento del Pie y

el Tobillo (FAO), lo que establece una base sólida para la interpretación precisa de estas mediciones. Además, tanto el Desplazamiento del Calcáneo (CO) como el Ángulo de Alineación del Retropié (HAA) exhibieron una alta consistencia entre evaluadores. Las correlaciones significativas y positivas entre el FPI y el FAO, el FPI y el CO, así como entre el FPI y el HAA, destacan la interrelación entre diferentes aspectos de la alineación del pie y el tobillo. Este hallazgo sugiere la utilidad de considerar múltiples mediciones en la evaluación clínica. Además, las diferencias significativas en las mediciones promedio de FPI y FAO entre los grupos de alineación normal, varo y valgo, junto con las asociaciones moderadas a fuertes dentro de cada grupo, resaltan la importancia de estas mediciones en la caracterización precisa de la alineación del pie y el tobillo en diferentes condiciones. (10)

Mediciones para evaluación del pie plano en adultos:

A. Tomografía computarizada de haz cónico en carga (TCEC):

- a. Ángulo de Alineación del Retropié Clínico en TCEC (WBCT CHAA) (4)
- b. Ángulo del Eje Tibial/Tuberosidad Calcánea (TACTA) (4)
- c. Ángulo del Eje Tibial/Articulación Subastragalina (TASJA) (4)
- d. Descubrimiento de la faceta media (MFU) (6)
- e. Ángulo de cobertura talonavicular (TNCA) (6) (9)
- f. Ángulo de Meary (6)
- g. Brazo de momento del retropié (HMA) (6)
- h. No cobertura de la faceta media de la articulación subastragalina (MF%) (9)
- i. Desplazamiento del pie y el tobillo (FAO) (9) (10)
- j. Distancia del navicular a la piel (8)
- k. Distancia del navicular al suelo (8)
- l. Ángulo de inclinación del calcáneo (7)
- m. Ángulo talar-primera articulación metatarsiana (7)

- n. Distancia del cuneiforme medial al suelo (8)
- o. Distancia del cuneiforme medial a la piel (8)
- p. Ángulo de incongruencia de la faceta media de la articulación subastragalina (MF°) (9)
- q. Ángulo sagital del astrágalo-primer metatarsiano (TM1S) (9)

B. Mediciones tridimensionales (5):

- a. Área de cobertura de la articulación:
 - i. Articulación talocrural
 - 1. PCFD flexible: cobertura articular fibular
 - 2. PCFD rígido: cobertura articular tibial
 - ii. Articulación subastragalina
 - 1. PCFD rígido:
 - a. Cobertura del astrágalo
 - b. Cobertura del calcáneo en facetas antero-medial y posterior
 - iii. Complejo articular de Chopart
 - 1. PCFD rígido:
 - a. Cobertura astrágalo dentro de articulación talonavicular
 - b. Cobertura calcáneo dentro de articulación calcaneocuboidea

Conclusión

Como conclusiones podemos decir que existen numerosas mediciones en TCEC posibles y fiables en la valoración del pie plano, que se correlacionan con las efectuadas en la Rx y que la correlación entre observadores es elevada, y por tanto son reproducibles.



Referencias bibliográficas

1. De Sousa FL, Avalos Simbero ME. Pie plano del adulto: Actualización bibliográfica. [Adult flat foot: Bibliographic update]. Trabajo Final de Carrera [Final Career Work]. Buenos Aires: Universidad Abierta Interamericana, Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud; 2021.
2. Doan MK, Long JR, Verhey E, Wyse A, Patel K, Flug JA. Cone-beam CT of the extremities in clinical practice. *Radiographics*. 2024;44(3).
3. de Cesar Netto C, Schon LC, Thawait GK, da Fonseca LF, Chinanuvathana A, Zbijewski WB, Siewerdsen JH, Demehri S. Flexible Adult Acquired Flatfoot Deformity: Comparison Between Weight-Bearing and Non-Weight-Bearing Measurements Using Cone-Beam Computed Tomography. *J Bone Joint Surg Am*. 2017; 99(14): e75.
4. de Cesar Netto C, Shakoor D, Roberts L, Chinanuvathana A, Mousavian A, Lintz F, Schon LC, Demehri S, Weight Bearing CT International Study Group. Hindfoot alignment of adult acquired flatfoot deformity: A comparison of clinical assessment and weightbearing cone beam CT examinations. *Foot Ankle Surg*. 2019 Dec;25(6):790-797.
5. Knutson K, Peterson AC, Lisonbee RJ, Hintermann B, Krähenbühl N, Lenz AL. Joint Coverage Analysis in Progressive Collapsing Foot Deformity. *J Orthop Res*. 2023 Sep;41(9):1965–1973. doi: 10.1002/jor.25543.
6. Fayed A, Mallavarapu V, Schmidt E, de Carvalho KAM, Lalevée M, Kim KC, Ehret A, Rojas EO, Lintz F, Ellis SJ, Mansur NSB, de Cesar Netto C. Deformities Influencing Different Classes in Progressive Collapsing Foot. *Iowa Orthop J*. 2023 Dec;43(2):8–13.
7. Shakoor D, de Cesar Netto C, Thawait GK, Ellis SJ, Richter M, Schon LC, International Weight Bearing CT Society, Demehri S. Weight-bearing radiographs

and cone-beam computed tomography examinations in adult acquired flatfoot deformity. *Foot Ankle Surg.* 2021 Feb;27(2):201-206.

8. de Cesar Netto C, Shakoor D, Dein EJ, Zhang H, Thawait GK, Richter M, Ficke JR, Schon LC, Weightbearing CT International Study Group. Influence of investigator experience on reliability of adult acquired flatfoot deformity measurements using weightbearing computed tomography. *Foot Ankle Surg.* 2019 Aug;25(4):495-502.
9. Lintz F, Bernasconi A, Li S, Lalevée M, Fernando C, Barg A, Dibbern K, de Cesar Netto C. Diagnostic accuracy of measurements in progressive collapsing foot deformity using weight bearing computed tomography: A matched case-control study. *Foot Ankle Surg.* 2022 Oct;28(7):912-918.
10. Patel S, Bernasconi A, Thornton J, Buraimoh O, Cullen NP, Welck MJ, Singh D. Relationship between foot posture index and weight bearing computed tomography 3D biometrics to define foot alignment. *Gait Posture.* 2020 Jul;80:143-147.

