

Aus der Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie
der Heinrich – Heine - Universität Düsseldorf
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Juliane Hörner

Effektivität und Sicherheit der niedrigdosierten Radiotherapie in der Behandlung des Fersensporns

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität
Düsseldorf

vorgelegt von

Kimia Karimi

2024

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. Nikolaj Klöcker

Erstgutachterin: Prof. Dr. med. Christiane Matuschek

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Peter Minko

Danksagung:

Diese Arbeit ist meiner Mutter und meiner Familie gewidmet.

Ein Teil der Doktorarbeit wurde als Poster auf dem Kongress der Deutschen Gesellschaft für Radioonkologie (DEGRO) in Kassel am 13.06.2024 vorgestellt.

Zusammenfassung:

Hintergrund: Der Fersensporen, eine verbreitete Ursache für Fersenschmerzen, stellt sowohl eine erhebliche Belastung für die Lebensqualität der Betroffenen als auch eine Herausforderung in der orthopädischen Versorgung dar. Die konventionellen Therapiemethoden bieten oft nur begrenzte Erleichterung, wobei die niedrigdosierte Radiotherapie (RT) zunehmend an Interesse gewinnt als eine potenziell effektivere Behandlungsalternative. Jedoch fehlen zurzeit noch umfassende Daten bezüglich ihrer Effektivität und Sicherheit sowie der optimalen zu verabreichenden Dosis. Verabreicht wurden in unserer Abteilung zwei Dosiskonzepte 6 x 0.5 Gy und 6 x 1 Gy. Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag, diese bisher nicht abschließend geklärten Fragen hinsichtlich des optimalen Einsatzes und der Durchführung der niedrigdosierten Radiotherapie bei Patienten mit Fersensporen zu beantworten.

Methodik: In dieser retrospektiven Studie wurden 100 Patienten (27 Männer und 73 Frauen) mit einem Durchschnittsalter von 70,7 Jahren (Altersspanne: 37 bis 101 Jahre) aufgenommen. Alle Patienten erhielten eine niedrig dosierte lokale RT mit einer Gesamtdosis von 3 Gy (6 x 0.5 Gy) oder 6 Gy (6 x 1 Gy). Die Wirksamkeit der Therapie wurde anhand der Schmerzlinderung, Verbesserung der Mobilität, Reduktion der Aktivitätsbeschränkungen, Verringerung der Einnahme nicht steroidaler Antirheumatika (NSAR) und der Bewertung möglicher Hautveränderungen sowie Tumorbildungen im Bestrahlungsfeld über einen Nachbeobachtungszeitraum von 20 Jahren analysiert.

Ergebnisse: Mehr als 70% der Patienten zeigten eine signifikante Verbesserung ihrer Beschwerden nach einer niedrigdosierten Bestrahlung ihres Fersensporns mit 3 Gy (n = 23) oder 6 Gy (n = 77). Die Einnahme von NSAR war insgesamt sehr gering und gutartige Hautveränderungen wurden nicht beobachtet. Zudem kam es bei keinem der Patienten zum Nachweis einer Tumorinduktion im Bestrahlungsfeld. Es wurden somit kein

signifikanter Anstieg im Auftreten radiogener Spättoxizitäten beobachtet. Die Mobilität und Aktivität der Patienten waren im Alltag nur geringfügig eingeschränkt und die meisten Patienten zeigten ein physiologisches Gangbild.

Schlussfolgerung: Die niedrigdosierte Radiotherapie ist sowohl eine sichere als auch eine effektive Methode zur Behandlung des Fersenspornes. Die hohe Erfolgsquote in Kombination mit dem Fehlen von schwerwiegenden Spätnebenwirkungen machen diese Therapie zu einer vielversprechenden Option in der strahlentherapeutischen Praxis. Zukünftige Studien sollten sich auf Langzeiteffekte und die Entwicklung optimierter Behandlungsprotokolle konzentrieren.

Abstract:

Background: Heel spurs, a common cause of heel pain, represent both a significant burden on the quality of life of those affected and a challenge in orthopedic care. Conventional treatment methods often offer only limited relief, with low-dose radiotherapy (RT) gaining increasing interest as a potentially more effective treatment alternative. However, comprehensive data regarding its efficacy and safety, as well as the optimal dose to be administered, is currently lacking. This study contributes to answering these questions regarding the optimal use and implementation of low-dose radiotherapy in patients with calcaneal spurs.

Methods: 100 patients (27 men and 73 women) with a mean age of 70.7 years (age range: 37 to 101 years) were included in this retrospective study. All patients received low-dose local RT with a total dose of 3 Gy or 6 Gy. The efficacy of the therapy was analyzed based on pain relief, improvement of mobility, reduction of activity limitations, reduction of non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) intake and assessment of possible skin changes and tumor formation in the irradiation field over a follow-up period of 20 years

Results: More than 70% of patients showed a significant improvement in their symptoms after low-dose irradiation of their distant spur with 3 Gy or 6 Gy. The need to take NSAIDs was very low overall and no benign skin changes were observed. In addition, there was no evidence of tumor induction in the radiation field in any of the patients. Thus, no significant increase in the occurrence of radiogenic late toxicities was observed. The mobility and activity of the patients was only slightly restricted in everyday life and most patients showed a physiological gait pattern.

Conclusion: Low-dose radiotherapy is both a safe and effective method of treating calcaneal spurs. The high success rate in combination with the lack of serious late side effects make this therapy a promising option in radiotherapy practice. Future studies should focus on long-term effects and the development of optimized treatment protocols.

Abkürzungsverzeichnis:

Abb: Abbildung

CR: complete response

CT: Computer Tomographie

CTCAE: Common Terminology Criteria for Adverse Events

CTV: Clinical target volume

DNA: Desoxyribonukleinsäure

E-Mail: elektronische Nachricht

Gy: Gray

KV: kilo Vat

M: männlich

MRT: Magnet Resonanz Tomographie

MV: Mega Volt

NR: no response

NSAR: nicht steroidale Antiphlogistika

NSAID: non-steroidal anti-inflammatory drugs

PR: partial response

PTV: Planning target volume

RT: Radiotherapie

W: weiblich

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung:	9
2. Patienten und Methoden:	18
3. Ergebnisse:	22
4. Diskussion:	28
5. Schlussfolgerung:	31
7. Literaturverzeichnis:	32
8. Eidesstattliche Versicherung	38

1. Einleitung:

Der Fersensporn, eine häufige Ursache für Fersenschmerzen, ist durch eine knöcherne Auswucherung am Fersenbein gekennzeichnet, die zu erheblichen Beschwerden führen kann ¹. Es gibt zwei Hauptformen des Fersenspornes: der plantare Fersensporn, der sich an der Unterseite der Ferse bildet, und den selteneren dorsalen Fersensporn, der sich an der Rückseite der Ferse an der Ansatzstelle der Achillessehne entwickelt. Vom dorsalen Fersensporn wird eine weitere Form unterschieden, die sogenannte Haglund Exostose, bei der sich eine knöcherne Ausziehung an der oberen hinteren Kante des Calcaneus entwickelt (siehe Abb. 1). Diese Exostose ist oft mit einer schmerzhaften Schleimbeutelentzündung vergesellschaftet. Der eigentliche Sporn verursacht in der Regel keine Schmerzen; die Beschwerden resultieren vielmehr aus der Entzündung des umgebenden Gewebes ¹⁻¹¹.

Die Entstehung eines Fersenspornes ist oft auf Fußfehlstellungen oder Überbelastung zurückzuführen, die in lokalen Mikrotraumata und einer Entzündungsreaktion der Sehnenansätze resultieren. Als Reaktion des Körpers auf diese chronische Entzündung kommt es zu lokalen Kalkablagerungen und im weiteren Verlauf zu Verknöcherungen der Sehnenansätze. Die Risikofaktoren umfassen Übergewicht, das Vorhandensein eines Knick-Senkfußes oder Hohlfußes, ein hohes Alter und das Ausüben einer stehenden Tätigkeit. Bei einem Hohlfuß (Pes excavatus) kommt es zu einer Verkürzung der Gesamtlänge des Fußes, was wiederum zu einer erhöhten Belastung der Plantarsehne führt. Durch diese Überbelastung steigt das Risiko für einen plantaren Fersensporn. Zusätzlich kann auch der vermehrte Zug an der Achillessehne in der Entstehung eines oberen Fersenspornes resultieren. Der Knick-Senkfuß wird oft durch eine Schwäche der Tibialis-posterior-Sehne verursacht und tritt im Erwachsenenalter häufiger bei Frauen auf. Durch das Absinken des Fußgewölbes und dem Abkippen der Ferse nach außen kommt es zu veränderten Zugkräften, was ebenfalls in einer chronischen Plantarfasziitis und einem plantaren Fersensporn resultieren kann ^{2,12-14}.



Abbildung 1. Der Fersensporn kann an verschiedenen Prädilektionsstellen des Calcaneus auftreten. Unterschieden wird zwischen dem häufigeren plantaren Fersensporn (siehe Pfeil), der sich an der Ansatzstelle der Plantaraponeurose am Calcaneus befindet und dem selteneren dorsalen Fersensporn an der Ansatzstelle der Achillessehne. Eine weitere seltene Prädilektionsstelle befindet sich am dorsocranialen Calcaneus (Haglund Exostose). Die häufigsten Stellen für resultierende entzündliche Veränderungen und Schmerzpunkte sind entlang der unteren Achillessehne und der dorsalen Plantaraponeurose.

Die Diagnosestellung eines Fersensorns erfolgt in der Regel durch eine klinische Untersuchung und kann durch eine Röntgenaufnahme bestätigt werden. Die Röntgendiagnostik wird jedoch erst bei therapieresistenten Beschwerden empfohlen, da der Informationszugewinn nur selten zu einer Änderung der Therapiestrategie führt. In einer retrospektiven Studie von Levy et. al bei Patienten mit plantaren Schmerzen waren circa 17 % der Röntgenaufnahmen unauffällig und zeigten keine Verkalkungen oder Exostosen ⁵⁵. Ob weiterführende Bildgebungen (MRT, Sonografie)

zusätzlich eingesetzt werden sollen, ist nicht abschließend geklärt. Beide Modalitäten können entzündliche Umgebungsreaktionen nachweisen, die jedoch auch bei asymptomatischen Patienten gefunden werden können ⁵⁵. Aus diesem Grund kann die Diagnose und Therapieindikation eines symptomatischen Fersenspornes also rein klinisch gestellt werden.

In 80% der Fälle werden Fersensporne konservativ behandelt ⁵¹. Dazu gehören:

- Schuheinlagen: Die passive Korrektur kann helfen, den Druck auf die Ferse zu verteilen oder Fehlstellungen auszugleichen und auf diese Weise Schmerzen zu lindern.
- Physiotherapie: Spezielle Übungen zur Stärkung der Unterschenkel- und Fußmuskulatur können die Symptome verbessern.
- Kältetherapie: Anwendung von Eis kann die begleitende Entzündungsreaktion reduzieren.
- Medikamente: Entzündungshemmende Analgetika (NSAR) können zur Unterbrechung der chronischen Entzündung und zur Schmerzlinderung eingesetzt werden.
- Stoßwellentherapie: Eine nicht-invasive Methode, die Schmerzen lindern kann, indem Schallwellen von außen in tiefere Gewebeschichten geleitet werden. Dabei wird der Fersensporn nicht zertrümmert; die Stoßwellen sorgen vielmehr lokal für einen verbesserten Stoffwechsel und eine verbesserte Durchblutung, was den Heilungsprozess beschleunigen kann.

Die niedrigdosierte Radiotherapie wird zunehmend als Behandlungsmethode für therapieresistente Fersenschmerzen in Betracht gezogen und ist oft nicht die Therapiemethode der ersten Wahl, da sie mit einer (wenn auch geringen) Strahlenbelastung einhergeht. Gerade bei jüngeren Patienten erfolgt die Indikationsstellung in der Regel nur in Ausnahmefällen und wird erst mit zunehmendem Alter regelhaft gestellt. Generell gilt die Radiotherapie als eine nicht-invasive und konservative Behandlungsalternative, die sich nach bisheriger Datenlage durch eine gute Verträglichkeit und geringe Nebenwirkungen ausgezeichnet hat ¹⁵⁻¹⁸. Die

Behandlung erfolgt in der Regel über mehrere Sitzungen, wobei in früheren Studien häufig eine Gesamtdosis von 6 Gy über etwa drei Wochen angewendet wurde. Auch ein Konzept mit einer niedrigeren Gesamtdosis von 3 Gy kam zum Einsatz, wie es auch in unserer Abteilung praktiziert wird. Dabei gab es bei uns jedoch kein einheitliches Dosierungsschema. Studien zeigen, dass diese Therapie bei bis zu 70 % der Patienten zu einer deutlichen Schmerzlinderung führt.

Eine Operation wird nur in seltenen Fällen in Betracht gezogen und befindet sich in der therapeutischen Hierarchie aufgrund des invasiven Charakters noch hinter der Radiotherapie. Eine Operation sollte also immer nur dann empfohlen werden, wenn konservative Methoden keinen Erfolg gezeigt haben ¹⁵.



Abbildung 2a Planungs-CT für die Therapieplanung des Fersensporns mit Lagerungshilfen



Abbildung 2 b: seitliche Aufnahme des Planungs-CT mit Lagerungshilfen für die Therapieplanung des Fersensporn

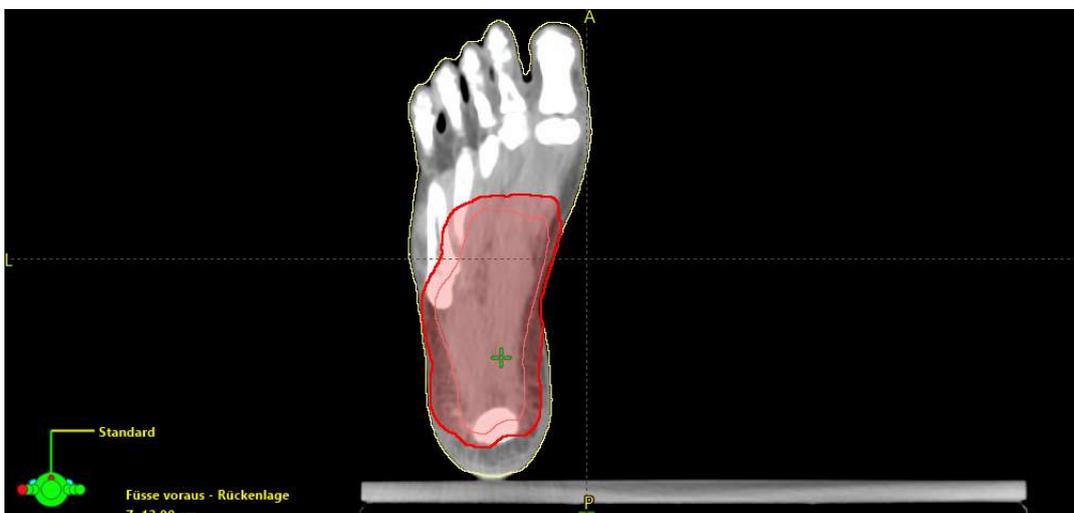


Abbildung 3: Konturierung eines plantaren Fersenspornes 3D-konformal mit statischer Gantry.

Als Clinical target volume (CTV) wird nicht nur der Ansatzpunkt der Plantaraponeurose am Calcaneus gewählt, sondern auch die dorsalen zwei Drittel der Plantaraponeurose, da auch die entzündliche Umgebungsreaktion möglichst vollständig erfasst werden sollte (siehe rote und dunkelrote Umrandung in Abbildung 3). Generell sollte das Bestrahlungsfeld immer klinisch korreliert werden und alle vom Patienten angegebenen Schmerzpunkte erfassen. Um mögliche intra- und interfraktionelle Lagerungsunterschiede zu berücksichtigen, wird um dieses CTV ein zusätzliches Planning target volume gebildet, wobei ein Saum von 7-10 mm um das CTV erzeugt und an der Oberfläche beschnitten wird. Bestrahlt wird mit 6MV Photonen und einer täglichen Einzeldosis von 0,5 Gy oder 1 Gy, in 6 Zyklen und somit bis zu einer Gesamtdosis von 3 bzw. 6 Gy. Der Knochen gilt als Risikostruktur und soll so weit wie möglich geschont werden. Früher wurden bei uns ein Cobalt-Gerät und ein Orthovolt-Gerät eingesetzt. Beide Geräte wurden mittlerweile abgebaut und stehen nicht mehr zur Verfügung



Abbildung 4: Linearbeschleuniger zur Durchführung einer niedrig dosierten Radiotherapie beim Fersensporn. Auf dem Bild sieht man die Gantry und den Carbontisch.

In unsere Abteilung wurde je nach Oberarzt unterschiedliche Dosiskonzepte eingesetzt. Bisher gibt es keinen Konsens über die optimale Bestrahlungstechnik und Gesamtdosis sowie über das

Fraktionierungsschema, sodass standortabhängig oft unterschiedliche strahlentherapeutische Konzepte zum Einsatz kommen. Darüber hinaus gibt es bisher wenig Daten über mögliche Spättoxizitäten (deterministische Strahlenfolgen) einer lokalen niedrigdosierten Radiotherapie bei Fersenspornpatienten wie beispielweise lokale Hautveränderungen oder der Entstehung einer Fibrose. Von den deterministischen Strahlenschäden werden die sogenannten stochastischen Strahlenschäden unterschieden, die alle kanzerogenen, mutagenen oder teratogenen Folgen einer Strahlentherapie zusammenfassen ⁵⁵. Es handelt sich um Nebenwirkungen, die auf einer direkten oder indirekten Schädigung der DNA beruhen. Für stochastische Strahlenfolgen gibt es keinen Schwellenwert, das bedeutet, dass sogar eine einzelne Bestrahlungsfraction mit einer sehr geringen Dosis theoretisch eine Tumorinduktion zur Folge haben kann. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines stochastischen Strahlenschadens nimmt mit steigender verabreichter Dosis jedoch zu.

Ziel dieser Studie war es die Inzidenz stochastischer und deterministischer Strahlenfolgen mit einer Nachbeobachtungszeit von 20 Jahren zu erfassen, um die langfristige Sicherheit einer niedrigdosierten Radiotherapie bei Patienten mit Fersenspornen zu bestätigen. Außerdem sollten die langfristigen Erfolgsraten dieser Behandlungsmethode ermittelt werden.

2. Patienten und Methoden:

In dieser retrospektiven Studie untersuchten wir die Wirksamkeit der niedrigdosierten Radiotherapie bei der Behandlung von Fersenspornen in den Jahren von 1998 bis 2010. Zur Erhebung der Daten wurden sowohl telefonische Befragungen als auch schriftliche Anschreiben durchgeführt, um langfristige Ergebnisse zu erfassen.

Datenerhebung und Patientenkontakt:

- Wir versuchten die Patienten telefonisch zu kontaktieren, um Informationen über ihre Symptome, Schmerzintensität und Mobilität zu erhalten.
- Zusätzlich versandten wir Schreiben und E-Mails an Patienten, die wir telefonisch nicht erreichen konnten, um die Patienten zur Teilnahme an der Studie zu motivieren und Langzeitergebnisse zu dokumentieren.

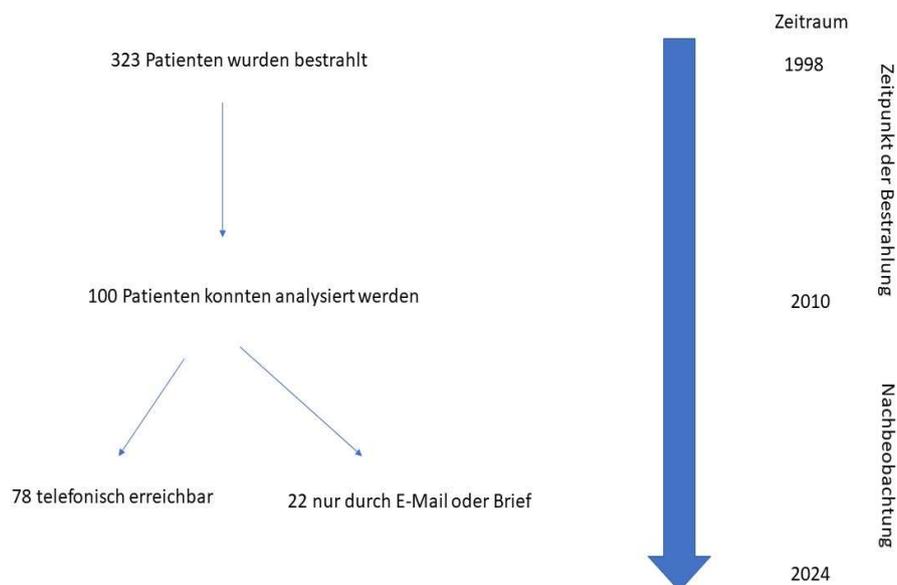


Abbildung 5: Flow Chart der Studie, Im Rahmen des Langzeit-Follow-ups wurden insgesamt 323 Patienten, die ursprünglich bestrahlt wurden, kontaktiert. Aufgrund des langen Zeitraums und der damit verbundenen

Herausforderungen bei der Nachverfolgung konnten jedoch nur 100 dieser Patienten für die Analyse berücksichtigt werden. Der Großteil der verbleibenden Patienten war entweder verstorben oder für die Studie nicht mehr erreichbar, sei es aufgrund geänderter Kontaktdaten oder anderer nicht nachvollziehbarer Gründe.

Zunächst wurde die deskriptive Statistik verwendet, um das Durchschnittsalter der Patienten zu ermitteln. In diesem Fall wurde der Mittelwert berechnet, um das Durchschnittsalter der Patienten zu bestimmen.

Zweitens wurde eine prozentuale Analyse durchgeführt, um den Anteil der Patienten zu bestimmen, die eine signifikante Besserung ihrer Beschwerden zeigten und NSAR verwendeten.

Drittens wurde ein Vergleich von Anteilen durchgeführt, um zu beobachten, ob ein Tumor im Bestrahlungsfeld induziert wurde. Dieser Vergleich ermöglicht es, die Anzahl der beobachteten Ereignisse mit der erwarteten Anzahl zu vergleichen und so festzustellen, ob es signifikante Unterschiede gibt.

Die Erhebung der Schmerzen bedingt durch die Bildung eines Fersenspornes erfolgte anhand des Rowe-Scores, den wir in einer vorherigen Publikation zur Behandlung des Fersenspornes eingesetzt hatten ^{19-26, 55}. Wir haben den Score modifiziert und wie in der vorangegangenen Publikation für den Fersensporn eingesetzt, um die Entwicklung der Beschwerdesymptomatik zu beschreiben.

Tabelle 1: Modifizierte Schmerz- und Funktionsskala nach Rowe et al. ¹⁹

Punktzahl 120–140: ausgezeichnet; Punktzahl 90–120: gut; Punktzahl 60–90: mäßig; Punktzahl 30–60: mild; Punktzahl 0–30: schwer

Kriterien	Antwortniveau	Punktzahl
Schmerzen	In Ruhe	Keine: 30, Mild: 20 Mäßig: 10, Schwer: 0
Schmerzen	In Bewegung	Keine: 0 Mild: 30 Mäßig: 20, Schwer: 10
Schmerzen	Bei Druck auf die Ferse	Keine: 0 Mild: 30, Mäßig: 20, Schwer: 10
Medizinische Hilfsmittel	Keine: 15, Orthopädische Einlagen, Sohlenpolsterung: 10, Eine Gehhilfe (Stock oder Unterarmstütze): 5, Zwei Gehhilfen: 0	
Alltägliche Aktivitäten	Normal, keine Einschränkungen: 15, Geringe Einschränkungen: 10, Mäßige Einschränkungen: 5, Vollständige Einschränkungen: 0	
Gang	Kein Hinken, normaler Gang ohne Einschränkungen: 20, Milder Schmerz und Hinken nach > 1 km: 10, Mäßiger Schmerz und Hinken nach < 1 km: 5, Schwerer Schmerz, normaler Gang nicht möglich: 0	

Um unsere Ergebnisse mit der Literatur weltweit zu vergleichen, haben wir eine pubmed Recherche mit den Begriffen „heel spur, radiation therapy, radiation therapy, low dose radiation therapy“ durchgeführt. 24 Veröffentlichungen zwischen 1924 und 2024 mit einer Gesamtzahl von 4046 Fällen wurden analysiert.

Ein weiterer wichtiger Aspekt unserer Studie war die Sicherheit der Behandlung. Radiogene Frühreaktionen sind Nebenwirkungen, die während oder kurz nach der Strahlentherapie auftreten. Sie sind in der Regel vorübergehend und können sich innerhalb von Tagen bis zu einigen Wochen zurückbilden. Beispiele hierfür sind Hautrötungen, Schwellungen. Radiogene Spätreaktionen hingegen manifestieren sich Monate bis Jahre nach der Strahlentherapie und sind oft irreversibel. Zu den Spätfolgen zählen unter anderem Fibrosen, Gefäßschäden und sekundäre Tumoren. Um diese Reaktionen zu bewerten, haben wir die Common Terminology Criteria for Adverse Events (CTCAE) Score verwendet. Dieser bietet ein standardisiertes Klassifikationssystem für die Schwere von Nebenwirkungen der Strahlentherapie. Der CTCAE Score ermöglicht es, die Intensität der Nebenwirkungen zu quantifizieren und zu dokumentieren, was für die Nachsorge und Behandlung von Patienten wichtig ist

Zur Erstellung der Graphiken wurde ChatGPT Version 4.0 mit DALL-E eingesetzt.

3. Ergebnisse:

In dieser Studie wurde die Wirksamkeit der niedrigdosierten Strahlentherapie bei Patienten mit symptomatischem Fersensporn, die von 1998- 2010 bestrahlt wurden untersucht. Die Nachbeobachtungszeit betrug maximal 20 Jahre. Die Studie umfasste 100 Patienten (27 Männer und 73 Frauen) mit einem Durchschnittsalter von 70,7 Jahren (Altersspanne: 37 bis 101 Jahre). Bei der niedrigdosierten Bestrahlung ihres Fersensporns wurden bei den Patienten entweder 6 x 0.5 Gy bis 3 Gy (n = 23) oder 6 x 1 Gy bis 6 Gy (n = 77) eingesetzt.

Art der Therapie	Gesamt (N=Patienten)	Prozentzahlen
Physiotherapie	3	2,2%
Orthopädische Einlagen	48	35,8%
Stoßwellenbehandlung	6	4,5%
Massage	5	3,7%
Ultraschallbehandlung	4	2,9%
NSAID	34	25,3%
Antiphlogistische Salben	5	3,7%
Kortison (oral)	2	1,5%
Kortikoide Injektion	25	18,6%
Operative Therapie	2	1,5%

Tabelle 2: Vorbehandlung vor Strahlentherapie des untersuchten Patientenkollektivs.

Erst nach 6 Wochen zeigten sich bei 70% der Patienten eine deutliche Besserung der Schmerzsymptomatik. 75% der Patienten verzichteten während der Strahlentherapie (2 Wochen) auf eine größere Belastung des behandelten Fußes und folgten den Anweisungen der Strahlentherapeuten das Bein zu schonen.

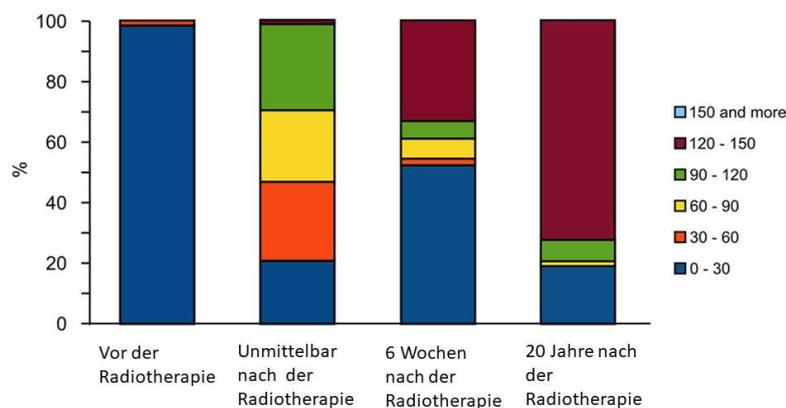


Abbildung 6: Grafische Darstellung des Rowe Score vor der RT, unmittelbar nach der RT und 20 Jahre nach der RT. Der Rowe Score zeigte auch in der Langzeitbeobachtung eine Verbesserung der Beschwerdesymptomatik durch die Radiotherapie.

Vor der RT-Behandlung zeigten 100 Patienten (99%) einen Rowe S-Score zwischen 0 und 30 (starke Schmerzen) und nur 1 Patient (1%) hatte einen S-Score zwischen 30 und 60 (leichte Schmerzen).

Am letzten Tag der RT-Behandlung erreichten 21 Patienten (20,8%) einen S-Score zwischen 0 und 30 (geringe bis keine Verbesserung), 26 Patienten (25,7%) einen S-Score zwischen 30 und 60 (leichte Schmerzverbesserung), 24 Patienten (23,7%) einen S-Score zwischen 60 und 90 (leichte bis mäßige Verbesserung) und 29 Patienten (28,7%) hatten einen S-Score zwischen 90 und 120 (gute Schmerzreaktion). Nur 1 Patient

(1%) erreichte eine vollständige Schmerzreaktion mit einem S-Score zwischen 120 und 150. Die Langzeitreaktion konnte bei 100 Patienten nach 20 Jahren ausgewertet werden. 16 Patienten erhielten 2 Bestrahlungsserien (4 Patienten erhielten Orthovolt-Radiotherapie, 9 Patienten erhielten Bestrahlung mit Kobalt und 3 Patienten beides). Darüber hinaus wurde der Einfluss verschiedener Parameter (radiotherapeutisch und klinisch) auf die therapeutische Reaktion (Schmerzreduktion) der Bestrahlung von Fersenspornen bewertet. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, die zu irgendeinem Zeitpunkt unterschiedliche Einzeldosen erhielten (p-Wert: am letzten Tag der RT: 0,922, 6 Wochen nach der RT: 0,865, bei Datenerhebung: 0,949). Ebenso konnten keine signifikanten Unterschiede nach der Pearson-Korrelation zwischen der Gesamtdosis (3 oder 6 Gy) und den therapeutischen Ergebnissen gemäß den Rowe-Scores am letzten Tag der Bestrahlung ($r = -0,157$, $p = 0,172$), 6 Wochen nach Abschluss der Radiotherapie ($r = 0,013$, $p = 0,905$) und bei Datenerhebung ($r = -0,061$, $p = 0,670$) festgestellt werden. Darüber hinaus wurde kein signifikanter Einfluss der Gesamtbehandlungszeit mit der Pearson-Korrelation festgestellt: am letzten Tag der Radiotherapie ($r = 0,06$, $p = 0,5$), 6 Wochen nach der Bestrahlung ($r = 0,022$, $p = 0,87$) und bei Datenerhebung ($r = -0,12$, $p = 0,27$). Am letzten Tag der Radiotherapie zeigte sich kein signifikanter Einfluss aller untersuchten Parameter auf das Therapieansprechen (Tabelle 3)

Variable	Regressionskoeffizient	Standardfehler	Beta	T	Signifikanz
(Konstante)	115,137	8,553	-	13,462	,000
Nennfeldfläche	-,009	,059	-,021	-,159	,874
Gerät	,012	,019	,089	,642	,523
Gesamtdosis	-3,955	2,691	-,226	-1,470	,146
Behandlungszeitraum	,880	1,353	,100	,650	,518

Tabelle 3: Die Tabelle zeigt die Ergebnisse einer Regressionsanalyse mit den nicht standardisierten und standardisierten Koeffizienten sowie deren Signifikanz.

Unsere Studie hat auch die Verwendung von nicht Steroiden Antirheumatika (NSAR) bei den Patienten untersucht. 55 Patienten nahmen NSAR während der Radiotherapie ein. 51 Patienten waren es beim Abschluss der Radiotherapie und 15 Patienten nach 20 Jahren.

Nach CTCAE Kriterien fanden wir keine relevanten Früh- und Spätnebenwirkungen, was die Sicherheit der niedrigdosierten Strahlentherapie unterstreicht. Im Bestrahlungsfeld fanden sich nach telefonischer Auskunft bei dieser niedrigen Dosis keine veränderten Hautpigmentierungen oder eine aufgetretene Fibrose. Bei allen Patienten fanden sich somit keine klinisch identifizierbaren deterministischen Spätfolgen der Radiotherapie.

Bei den Patienten traten nach einer Latenzzeit von 20 Jahren weder bösartige Hauttumore noch Weichgewebs- oder Knochenmalignome im Bestrahlungsfeld auf.

Obwohl die Mobilität der Patienten im Alltag leicht beeinträchtigt war, berichteten 23 von 100 Patienten, dass der Fersensporn ihr Gangbild beeinflusst hatte. Die Behandlung konnte, trotz gewisser Mobilitätseinschränkungen, den Patienten die Fortführung ihrer täglichen Aktivitäten mit minimalen Beeinträchtigungen ermöglichen.

Publikation	Patienten	Dose (Gy)	Technik	Response-	CR	PR	NR
	N	ED/GD		Rate (%)	(%)	(%)	(%)
Richarz (1924) ²⁷	5	–	Orthovolt	100	80	20	0
Pannewitz (1933) ²⁸	88		Orthovolt				
Mustakallio & Laitinen (1939) ²⁹	17	1,0-1,5/4,0-6,0	Orthovolt	82	76	6	18
Cocchi (1943) ³⁰	6	1,8/9,0	Orthovolt	83	33	50	17
Pizon (1957) ³¹	3	–	Orthovolt	100	100	0	0
Wieland & Kuttig (1965) ³²	16	1,0/4,0	Cobalt-60	100	74	13	13
Mitrov & Harbov (1967) ³³	1520	0,5-1,5/3,0-9,0	Orthovolt	88	50	38	12
Zschache (1972) ³⁴	49	0,74-1,5/2,25-4,5	Orthovolt	86	12	74	14
Mantell (1978) ³⁵	26	2,0/10,0	240-300KV	65	53	12	35
Basche et al. (1980) ³⁶	102	0,3-0,5/4,0	120Kv	90	32	58	10
Sautter-Bihl et al. (1993) ³⁷	15	0,5-1,0/2,5-6,0	Cobalt-60	80	60	20	20
Schäfer et al. (1995) ³⁸	11	0,5-1,0/2,0-4,0	Cobalt-60	72	13	59	27
Seegenschmiedt et al. (1996) ³⁹	72	1,0/12,0	250Kv	100	67	33	0
	98	0,3-0,5/3,0-5,0	200Kv	95	72	23	5
Lederer et al. (1998) ⁴⁰	21	1,0/6,0	4-6 MV, Cobalt-60	91	43	48	9
Oehler & Hentschel (2000) ⁴¹	258	–	Orthovolt	88	81	7	12
Koepfen et al. (2000) ⁴²	673	0,3/1,5-3,0	250Kv	78	13	65	22
Schreiber et al. (2000) ⁴³	87	1,0/6,0	6MV	86	67	19	14
Heyd et al. (2001) ⁴⁴	105		6MV	88	46	42	12
Glatzel et al. (2001) ⁴⁵	161	1,0/6,0-12,0	175Kv	89	63	26	11
Mücke et al. (2003) ⁴⁶	117	0,5/5,0-1,0	6MV	89	73	16	11
Schneider et al. (2004) ⁴⁷	68	0,25-1,0/5,0	10MV	90	53	37	10
Heyd et al. (2006) ⁴⁸	252	1,0/6,0	6MV	85,6	44,3	19,7	15,4
Heyd et al. (2007) ⁴⁹	130	0,5-1,0/3,0-6,0	6MV	87,7			12,3
Niewald et al. (2012) ⁵⁰	66	1,0-0,1/6,0-0,6	6MV				

Tabelle 4: Publikationen über die Behandlung des Fersensporns mit einer niedrig dosierten Radiotherapie

4. Diskussion:

Die Strahlentherapie, insbesondere die niedrig dosierte Strahlentherapie, ist ein wirksames Mittel zur Behandlung verschiedener Erkrankungen, einschließlich degenerativer und chronisch-entzündlicher Erkrankungen wie Arthrose^{1,17,51}. Auch in unserer Studie konnten wir eine deutliche Schmerzlinderung bei unseren Patienten finden. In Tabelle 2 finden sich die Ergebnisse anderer Studien, die die Wirksamkeit der niedrig dosierten Radiotherapie beim Fersensporn untersuchten. In diesen Untersuchungen fand sich eine Wirksamkeit von 70-100%. Dies entspricht auch unseren Erfahrungen, mit einer erzielten Wirksamkeit von 70%. Damit unterstreichen auch unsere Ergebnisse die Wirksamkeit der niedrig dosierten Radiotherapie beim Fersensporn. 55 Patienten nahmen während der Strahlentherapie nicht steroidale Antiphlogistika ein. Dies könnten natürlich die Ergebnisse der analgetischen Wirkung der Strahlentherapie verfälschen und somit die Strahlentherapie überbewerten. Der analgetische Effekt trat bei unseren Patienten wie es auch in der Literatur beschrieben worden ist erst nach einigen Wochen auf. Der genaue Wirkmechanismus umfasst vermutlich mehrere Aspekte:

Der erste Aspekt ist die Entzündungshemmung: Die Strahlentherapie kann die Entzündungsreaktion an Sehnen, Sehnenscheiden und Schleimbeuteln hemmen, was zu einer Schmerzlinderung führt⁵⁵.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Zellschädigung: Durch eine niedrig dosierte ionisierende Strahlung wird die zelluläre Immunreaktion im bestrahlten Gebiet herabgesetzt. Dies kann die Aktivität von Fibroblasten bremsen und somit die Bildung von überschießenden Narben reduzieren.

Auch dürfte die Gewebeveränderung eine Rolle spielen. Die Röntgenstrahlung, die bei der Strahlentherapie verwendet wird, kann das umliegende Gewebe problemlos durchdringen und beim Auftreffen auf das Gewebe des Fersensorns so viel Energie mit sich führen, dass das knöcherne Gewebe und die Zellen irreversibel geschädigt werden. Dies führt dazu, dass das knöcherne Gewebe des Fersensorns abgebaut wird und sich verkleinert³. Vermutlich ist die Strahlentherapie besonders wirksam, wenn sie frühzeitig angewendet wird. Die Behandlung ist kurz, wenig planungsintensiv und hat hohe Ansprechraten von 70 bis 100

Prozent⁴. Zudem ist sie praktisch frei von akuten Nebenwirkungen und Strahlenspätfolgen^{4,15-18}, was unsere Studie unterstreicht. Die Strahlentherapie wird zunehmend als eine effektive Methode zur Behandlung von Fersenspornen anerkannt, insbesondere wenn konventionelle Therapien und Schmerzmittel nicht ausreichend helfen. Hier sind einige Gründe, warum diese Methode praktisch frei von akuten Nebenwirkungen und Strahlenspätfolgen ist:

Niedrige Strahlendosis: Im Vergleich zur Krebstherapie wird bei der Behandlung von Fersenspornen eine erheblich geringere Strahlendosis verwendet. Typischerweise beträgt die Gesamtdosis etwa 3 bzw. 6 Gray (Gy), aufgeteilt auf mehrere Sitzungen¹². Diese niedrige Dosis ist ausreichend, um entzündungshemmend zu wirken und Schmerzen zu lindern, ohne das umliegende Gewebe stark zu belasten.

Gezielte Anwendung: Die Strahlentherapie wird präzise auf den betroffenen Bereich angewendet. Dies minimiert die Exposition des restlichen Körpers gegenüber Strahlung und reduziert das Risiko von Nebenwirkungen¹.

Hohe Ansprechraten: Studien haben gezeigt, dass die Ansprechraten bei der Strahlentherapie von Fersenspornen zwischen 70 und 100 Prozent liegen¹². Dies bedeutet, dass die Mehrheit der Patienten eine signifikante Schmerzlinderung erfährt, was die Notwendigkeit für zusätzliche, möglicherweise belastendere Behandlungen verringert.

Langfristige Wirksamkeit: Die Strahlentherapie bietet nicht nur kurzfristige Schmerzlinderung, sondern hat auch langfristige positive Effekte. Patienten berichten oft über eine anhaltende Verbesserung der Symptome über Monate bis Jahre¹.

Geringe Nebenwirkungen: Da die Strahlendosis so niedrig ist, treten akute Nebenwirkungen wie Hautreizungen oder Müdigkeit selten auf. Auch langfristige Strahlenspätfolgen, die bei höheren Dosen ein Risiko darstellen könnten, sind bei dieser Behandlungsmethode nahezu ausgeschlossen¹².

Auch die Induktion eines Tumors ist extrem gering. Sie wird in der Literatur mit einer Häufigkeit von 0,1% bis 1% beschrieben, sie sollte aber trotzdem in der Aufklärung des Patienten beschrieben werden³⁹. In unserer Studie

fanden wir keine Tumoren, die auf die Bestrahlung des Fersensporn zurückzuführen waren.

Die Strahlentherapie kann somit eine Alternative zur Behandlung von Schmerzen bei Fersensporn sein, insbesondere, wenn andere Behandlungsmethoden wie Physiotherapie, Einlagen oder Schmerzmittel nicht den gewünschten Erfolg gebracht haben. Die Vorteile der Strahlentherapie in Bezug auf die Kosten sind:

- **Geringe Behandlungskosten:** Die Strahlentherapie erfordert in der Regel nur wenige Sitzungen, was die Gesamtkosten im Vergleich zu langfristigen Therapien reduzieren kann. Die Kosten betragen ca. 100 Euro.
- **Weniger Folgebehandlungen:** Aufgrund der hohen Ansprechraten und der langanhaltenden Wirkung sind oft keine weiteren Behandlungen notwendig.
- **Keine Arbeitsausfälle:** Da die Strahlentherapie ambulant durchgeführt wird und mit minimalen Nebenwirkungen verbunden ist, können Patienten ihre täglichen Aktivitäten und Arbeit meist ohne Unterbrechung fortsetzen.

5. Schlussfolgerung:

Die niedrigdosierte Radiotherapie ist eine sichere und effektive Methode zur Behandlung des Fersenspornes. Unsere hohe Erfolgsraten in Kombination mit dem Fehlen von Nebenwirkungen machen diese Therapie zu einer vielversprechenden Option. Zudem konnten wir bei 100 Patienten nach 20 Jahren keine radiogenen Spätreaktionen oder Tumoren im Bestrahlungsfeld feststellen.

7. Literaturverzeichnis:

1. Boob MA, Phansopkar P, Somaiya KJ. The Therapeutic Efficacy of Ankle Mobilization and Advance Physiotherapy in Alleviating Heel Spur and Plantar Fasciitis: A Case Report. *Cureus* 2024;16(4):e57524. DOI: 10.7759/cureus.57524.
2. Cortes-Perez I, Moreno-Montilla L, Ibanez-Vera AJ, Diaz-Fernandez A, Obrero-Gaitan E, Lomas-Vega R. Efficacy of extracorporeal shockwave therapy, compared to corticosteroid injections, on pain, plantar fascia thickness and foot function in patients with plantar fasciitis: A systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil* 2024;2692155241253779. DOI: 10.1177/02692155241253779.
3. Kanesen K, Jaafar MS, Alias A, Kam ML, Yahaya MYB. A Multi-centered Retrospective Study on the Efficacy of Pulsed Radiofrequency Nerve Ablation in the Treatment of Recalcitrant Plantar Fasciitis: A Mid-term Outcome. *Cureus* 2024;16(4):e58021. DOI: 10.7759/cureus.58021.
4. Ryu SC, Lee DO, Park Y, Shin Y, Lee DY, Kyung MG. Clinical Efficacy of Application-Linked Stretching Ball as Digital Therapeutics in Plantar Fasciitis. *J Clin Med* 2024;13(9). DOI: 10.3390/jcm13092722.
5. Slullitel GA, Martinez de Albornoz P, Oller Boix A, Rey Canas R, Vazquez Vidosa J, Monteagudo de la Rosa M. Proximal Medial Gastrocnemius Recession for Recalcitrant Plantar Fasciitis. *Foot Ankle Int* 2024;10711007241242792. DOI: 10.1177/10711007241242792.
6. F ALK, Shalash R, Qadah R, Shousha T. Comparing two protocols of shock wave therapy for patients with plantar fasciitis: A pilot study. *PLoS One* 2024;19(5):e0302553. DOI: 10.1371/journal.pone.0302553.
7. Ricci V, Abdulsalam AJ, Ozcakar L. From Plantar Fasciitis to Heel Fat Pad Syndrome: Sonographic Kaleidoscope for Heel Pain. *Am J Phys Med Rehabil* 2024. DOI: 10.1097/PHM.0000000000002518.
8. Thong-On S, Harutaichun P. Author Correction: Effects of customized insoles with medial wedges on lower extremity kinematics and ultrasonographic findings in plantar fasciitis persons. *Sci Rep* 2024;14(1):10212. DOI: 10.1038/s41598-024-60480-1.

9. Jiang L, Liu T, Li Z, et al. Clinical Study of a Four-Step Program for the Treatment of Plantar Fasciitis with Bone Spurs. *Orthop Surg* 2024. DOI: 10.1111/os.14059.
10. Taseh A, Mathur V, Weaver B, et al. Role of insole material in treatment of plantar fasciitis: A randomized clinical trial. *Foot Ankle Surg* 2024. DOI: 10.1016/j.fas.2024.04.006.
11. Yildiz G, Perdecioğlu GRG, Yuruk D, Can E, Akkaya OT. Comparison of tibial nerve pulsed radiofrequency and intralesional radiofrequency thermocoagulation in the treatment of painful calcaneal spur and plantar fasciitis: A randomized clinical trial. *Pain Med* 2024. DOI: 10.1093/pm/pnae029.
12. Buchanan BK, Sina RE, Kushner D. Plantar Fasciitis. *StatPearls*. Treasure Island (FL) ineligible companies. Disclosure: Reddog Sina declares no relevant financial relationships with ineligible companies. Disclosure: Donald Kushner declares no relevant financial relationships with ineligible companies.2024.
13. Daher M, Covarrubias O, Herber A, Oh I, Gianakos AL. Platelet-Rich Plasma vs Extracorporeal Shock Wave Therapy in the Treatment of Plantar Fasciitis at 3-6 Months: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Foot Ankle Int* 2024;10711007241231959. DOI: 10.1177/10711007241231959.
14. Dede BT, Ada A, Oguz M, Bulut B, Bagcier F, Aytekin E. Comparing Myofascial Pain Syndrome Treatment with Dry Needling Versus Extracorporeal Shock Wave Therapy for Plantar Fasciitis on Pain and Function of the Heel. *J Foot Ankle Surg* 2024. DOI: 10.1053/j.jfas.2024.02.008.
15. Seegenschmiedt MH, Keilholz L, Katalinic A, Stecken A, Sauer R. Heel spur: radiation therapy for refractory pain--results with three treatment concepts. *Radiology* 1996;200(1):271-6. DOI: 10.1148/radiology.200.1.8657925.
16. Surenkok S, Dirican B, Beyzadeoglu M, Oysul K. Heel spur radiotherapy and radiation carcinogenesis risk estimation. *Radiat Med* 2006;24(8):573-6. DOI: 10.1007/s11604-006-0075-5.

17. Niewald M, Seegenschmiedt MH, Micke O, et al. Randomized, multicenter trial on the effect of radiation therapy on plantar fasciitis (painful heel spur) comparing a standard dose with a very low dose: mature results after 12 months' follow-up. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2012;84(4):e455-62. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2012.06.022.
18. Zahnreich S, Rosler HP, Schwanbeck C, Karle H, Schmidberger H. Radiation-induced DNA double-strand breaks in peripheral leukocytes and therapeutic response of heel spur patients treated by orthovoltage X-rays or a linear accelerator. *Strahlenther Onkol* 2020;196(12):1116-1127. DOI: 10.1007/s00066-020-01662-4.
19. Jensen KU, Bongaerts G, Bruhn R, Schneider S. Not all Rowe scores are the same! Which Rowe score do you use? *J Shoulder Elbow Surg* 2009;18(4):511-4. DOI: 10.1016/j.jse.2009.02.003.
20. Kupsch A, Kessler MA, Weis M, Imhoff A. [Development of a questionnaire for patient self-assessment of shoulder function based on the Rowe score]. *Unfallchirurg* 2007;110(2):111-5. DOI: 10.1007/s00113-006-1198-y.
21. Ladermann A, Denard PJ, Collin P, Ibrahim M, Bothorel H, Chih-Hao Chiu J. Single Assessment Numeric Evaluation for instability as an alternative to the Rowe score. *J Shoulder Elbow Surg* 2021;30(5):1167-1173. DOI: 10.1016/j.jse.2020.08.013.
22. Marcondes FB, de Vasconcelos RA, Marchetto A, de Andrade AL, Filho AZ, Etchebehere M. Translation to Portuguese Language and Cross-Cultural Adaptation of the Modified Rowe Score for Overhead Athletes. *Rev Bras Ortop* 2012;47(6):788-92. DOI: 10.1016/S2255-4971(15)30041-0.
23. Marcondes FB, de Vasconcelos RA, Marchetto A, de Andrade AL, Zoppi A, Etchebehere M. Translation and cross-cultural adaptation of the rowe score for portuguese. *Acta Ortop Bras* 2012;20(6):346-50. DOI: 10.1590/S1413-78522012000600007.
24. Park I, Oh MJ, Shin SJ. Minimal Clinically Important Differences and Correlating Factors for the Rowe Score and the American Shoulder and Elbow Surgeons Score After Arthroscopic Stabilization Surgery for

Anterior Shoulder Instability. *Arthroscopy* 2019;35(1):54-59. DOI: 10.1016/j.arthro.2018.08.005.

25. Schrouff C, Verlaan L. Bankart repair with remplissage vs. Latarjet procedure on recurrence, postoperative pain scores, external rotation, and Rowe score in patients with a Hill-Sachs lesion. A systematic review. *JSES Rev Rep Tech* 2023;3(4):461-468. DOI: 10.1016/j.xrrt.2023.08.001.
26. Skare O, Schroder CP, Mowinckel P, Reikeras O, Brox JI. Reliability, agreement and validity of the 1988 version of the Rowe Score. *J Shoulder Elbow Surg* 2011;20(7):1041-9. DOI: 10.1016/j.jse.2011.04.024.
27. A. R. Die Röntgenbehandlung der Epikondylitis und kalkaneodynie. . *Fortschr Röntgenstr* 1924;32:460.
28. G Pv. Die Röntgentherapie der Arthritis deformans. In : Holfelder H, Holthausen H, Jüngling O, Martius H, Schinz HR (Hrsg) : *Ergebnisse der medizinischen Strahlenforschung IV*. Thieme, Leipzig, 1933, S61-126.
29. Mustakallio S LH. Über die insertionsschmerz - ihre Diagnostik und Behandlung. . *Acta Radiol* 1939;20:427-37.
30. U. c. Erfolg und Mißerfolg bei Röntgenbestrahlung nichtkrebsiger Leiden. *Strahlentherapie* 1943;73:255-84.
31. P. P. La roentgentherapie des affections rhumatismales. Paris: Masson & Cie, 1957:142-3.
32. Wieland C KH. Hochvolttherapie bei Arthrosen und Entzündungen. *Strahlentherapie* 1965; 127: 44-8.
33. Mitrov G HI. Unsere Erfahrungen mit der Strahlenbehandlung von nichttumorartigen Erkrankungen. *Radiobiol Radiother* 8 (1967) 419-422
34. H Z. Ergebnisse der Röntgenschwachbestrahlung. *Radiobiol Radiother* 2 (1972) 181-186.
35. BS M. Radiotherapy for painful heel syndrome. *Br Med J* 2 (1978) 90-91.
36. Basche ST DW, Mohr K. Ergebnisse der Röntgenstrahlentherapie bei Fersensporn. *Radiobiol Radiother* 21 (1980) 233-236
37. Sautter-Biehl ML LH, Scheurig H, Heinze GH. Analgetische Bestrahlung degenerativ entzündlicher Skeletterkrankungen. *Dtsch med Wschr* 118 (1993) 493-498.
38. Schäfer U MO, Glashörster M et al. Strahlentherapeutische Behandlung des schmerzhaften Fersensporn. *Strahlenther Onkol* 171 (1995) 202-206

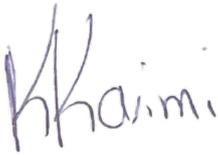
39. Seegenschmiedt MH KL, Katalinic A, Stecken A, Sauer R. Heel Spur: radiation therapy for refractory pain-results with three treatment concepts. *Radiology* 200 (1996) 271-276
40. Lederer K NU, Walter K, et al. . Perkutane Radiatio des schmerzhaften Fersensporns. *MTA* 1998;13:488-91.
41. Oehler W HB. Niedrigdosierte analgetische Radiotherapie von Arthrosen. *Ärzteblatt Thüringen* 11 (2000) 92-95.
42. Koeppen D BG, Gademann G. Ein Beitrag zur Dosiswirkungsbeziehung bei der Röntgentherapie des Fersensporns. *Strahlenther Onkol* 176 Sondernr 1 (2000) 91
43. Schreiber H BG, Ziegler K. Strahlentherapie des schmerzhaften Fersenspornes. In : Seegenschmiedt MH, Makoski HB (Hrsg) : 10. Kolloquium Radioonkologie/Strahlentherapie. Radiotherapie von gutartigen Erkrankungen. Diplodocus-Verlag, Altenberge, 2000, S186-187.
44. Heyd R SG, Filipowicz I, Borowsky K, Martin T, Zamboglou N Radiotherapie in the managment of inflammatory calcaneal spurs: Results of a prospektiv study. In : Seegenschmiedt MH, Makoski HB (Hrsg) : 15.Kolloquim Radioonkologie/Strahlentherapie, Radiotherapie von gutartigen Erkrankungen. Diplodocus-Verlag, Altenberge, 2001, S173-183.
45. Glatzel M BS, Krauß A, Fröhlich D. Radiotherapy of painful plantar heel spur. *Benig News* 2 (2001) 18-19.
46. Mücke R SK, Micke O, Berning D, Heyder R Radiotherapie of painful heel spurs – A retrospective study of 117 patients treated with 6-MeV-photons. *Strahlenther Onkol* 179 (2003) 774-778.
47. Schneider O SC, Bosch E, Gott C, Adamietz IA. Effectivness and prognostic factors of radiotherapy for painful plantar heel spurs. *Strahlenther Onkol* 180 (2004) 502-509.
48. Reinhard Heyd NT, Hanns Ackermann, Sandra J. Röddiger, Nikolaos Zamboglou. Funktionelle Ergebnisse nach Megavoltbestrahlung beim Fersensporn. *Strahlenther Onkol* (2006);182: 733-9 2006.
49. Heyd R TN, Ackermann H, Rödiger S, Zamboglou N. Radiation therapie for painful heel spurs. *Stahlenther Onkol* 183 (2007) 3-9.

50. Marcus Niewald MHS, Oliver Micke, Stefan Graeber, Ralf Muecke, Vera Schaefer, Christine Scheid, Jochen Fleckenstein, Norbert Licht, Christian Ruebe. Randomized, multicenter trial on the effect of radiation therapy on plantar fasciitis (painful Heel Spur) comparing a standard dose with a very low Dose: mature result after 12 months follow-up. . *Int J Radiat Oncol Biol* 2012;1-8 2012:1-8.
51. Kaur H, Tiwari P, Bansal N. Plantar Fasciitis with Chronic Baxter's Neuropathy Causing Hindfoot Pain - A Case Report. *J Orthop Case Rep* 2024;14(2):150-154. DOI: 10.13107/jocr.2024.v14.i02.4252.
52. Abdalbary SA, Alhaskawi A, Zhou H, et al. Predictive Measurement for Windlass Change in Length and Selected Treatment Outcomes in Chronic Plantar Fasciitis. *J Vis Exp* 2024(205). DOI: 10.3791/65368.
53. Alhakami AM, Babkair RA, Sahely A, Nuhmani S. Effectiveness of therapeutic ultrasound on reducing pain intensity and functional disability in patients with plantar fasciitis: a systematic review of randomised controlled trials. *PeerJ* 2024;12:e17147. DOI: 10.7717/peerj.17147.
54. Alnooh AM, Al Furaikh BF, Alaithan AM, et al. Retraction: Intraosseous Calcaneal Lipoma Misdiagnosed as Plantar Fasciitis: An Orthopedic Case From Family Practice. *Cureus* 2024;16(1):r121. DOI: 10.7759/cureus.r121.
55. Djiepmo F, Tamaskovics B, Bölke E, Peiper M, Hausmann J, Neuwahl J, Jazmati D, Maas K, Schmidt L, Gelzhäuser R, Schleich C, Corradini S, Orth K, van Griensven M, Rezazadeh A, Karimi K, Budach W, Matuschek C. Low-dose radiation treatment for painful plantar enthesophyte: a highly effective therapy with little side effects. *Eur J Med Res*. 2022 Feb 23;27(1):28. doi: 10.1186/s40001

8. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen Medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist.

22.10.2024, Kimia Karimi

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'K. Karimi'.

Unterschrift