

Aus der Klinik für Radioonkologie und Strahlentherapie Ernst von Bergmann
Akademisches Lehrkrankenhaus
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Das langfristige klinische Outcome der Strahlentherapie
bei der Behandlung der Plantarfasziitis**

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von
Elena Sipachova

Datum der Promotion: 26.06.2022

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	9
Abstract	10
Kurzzusammenfassung	11
1. Einleitung	13
1.1 Anatomie und Funktion der Aponeurosis plantaris	13
1.2 Biomechanik	14
1.3 Pathogenese der Plantarfasziitis	15
1.3.1 Fehlerhafte Biomechanik	15
1.3.2 Mechanische Überlastung	16
1.3.3 Entzündungsmediatoren und Sehnenstammzellen	16
1.3.4 Vertikale Kompression	16
1.4 Diagnostik	17
1.4.1 Anamnese und klinische Untersuchung	17
1.4.2 Radiologische Bildgebung	18
1.4.3 Sonographie	18
1.4.4 Magnetresonanztomographie	18
1.5 Differentialdiagnosen	18
1.6 Therapie	18
1.6.1 Dehnen	19
1.6.2 Schuheinlagen	20
1.6.3 Nachtschienen	20
1.6.4 LowDye-Taping	20
1.6.5 Nichtsteroidale Antirheumatika (NSAR)	21
1.6.6 Lokale Kortikosteroid - Injektionen	21
1.6.7 Needling, Platelet-Rich-Plasma oder Injektionen von Botuliniumtoxin	21
1.6.8 Extrakorporale Schockwellentherapie	22
1.6.9 Operative Maßnahmen	22
1.6.10 Strahlentherapie	23
2. Zielsetzung der Arbeit	26
3. Patienten und Methoden	27

3.1	Studiendesign	27
3.2	Ein- und Ausschlusskriterien	27
3.3	Erstellung des Fragebogens	27
3.4	Statistische Auswertung	32
4.	Ergebnisse	34
4.1	Charakteristika des Patientenkollektivs	34
4.1.1	Geschlecht und Alter	34
4.1.2	Beruf beziehungsweise ehemaliger Beruf	35
4.1.3	Body-Mass-Index	36
4.2	Schmerzerfassung	37
4.2.1	Schmerzregion und Schmerzlokalisation	37
4.2.2	Schmerzintensität	38
4.2.3	Schmerzcharakter und Schmerzhrythmik	38
4.2.4	Schmerzzunahme	38
4.2.5	Schmerzlinderung	38
4.3	Konservative Behandlungen vor der Strahlentherapie	39
4.4	Bestrahlungsplan: Dosierung, Fraktionierung und Energie	41
4.4.1	Anzahl der Bestrahlungsserien	42
4.5	Schmerzbedingte Einschränkung vor der Strahlentherapie, drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und zum Befragungszeitpunkt, bezogen auf die Berufsausübung, alltägliche Aktivität, Gehstrecke und Lebensqualität	42
4.6	Auswertung der Therapieergebnisse in der Gesamtgruppe bezogen auf die Berufsausübung	43
4.6.1	Schmerzbedingte Einschränkung im Beruf vor der Strahlentherapie	43
4.6.2	Therapieergebnisse drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie	43
4.6.3	Therapieergebnisse zum Befragungszeitpunkt	43
4.6.4	Vergleich der schmerzbedingten Einschränkung vor der Strahlentherapie, drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und zum Befragungszeitpunkt	44
4.7	Auswertung der Therapieergebnisse in der Gesamtgruppe bezogen auf die alltägliche Aktivität	45
4.7.1	Schmerzbedingte Einschränkung im Alltag vor der Strahlentherapie	45
4.7.2	Therapieergebnisse drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie	46
4.7.3	Therapieergebnisse zum Befragungszeitpunkt	46

4.7.4	Vergleich der schmerzbedingten Einschränkung vor der Strahlentherapie, drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und zum Befragungszeitpunkt	47
4.8	Auswertung der Therapieergebnisse in der Gesamtgruppe bezogen auf den Gang	48
4.8.1	Schmerzbedingte Einschränkung der Gehstrecke vor der Strahlentherapie	48
4.8.2	Therapieergebnisse drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie	48
4.8.3	Therapieergebnisse zum Befragungszeitpunkt	48
4.8.4	Vergleich der schmerzbedingten Einschränkung vor der Strahlentherapie, drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und zum Befragungszeitpunkt	49
4.9	Auswertung der Therapieergebnisse in der Gesamtgruppe bezogen auf die Lebensqualität	50
4.9.1	Lebensqualität vor der Strahlentherapie	50
4.9.2	Lebensqualität drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie	50
4.9.3	Lebensqualität zum Befragungszeitpunkt	51
4.9.4	Vergleich der Lebensqualität vor der Strahlentherapie, drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und zum Befragungszeitpunkt	51
4.9.5	Auswirkung der Schmerzintensität mit der Gewichtung „stark“ auf die Lebensqualität	52
4.10	Therapieergebnisse in Abhängigkeit vom Alter, Geschlecht und Lokalisation	56
4.10.1	Zusammenhang zwischen dem Alter und dem Strahlentherapieergebnis bezogen auf den Beruf, Alltag, Gang und die Lebensqualität	57
4.10.2	Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und dem Strahlentherapieergebnis bezogen auf den Beruf, Alltag, Gang und die Lebensqualität	58
4.10.3	Zusammenhang zwischen der Schmerzlokalisation und dem Strahlentherapieergebnis bezogen auf die Lebensqualität	59
4.10.4	Unterschiede in der Lebensqualität zwischen einer einseitigen und einer beidseitigen Bestrahlung bei bilateralen Schmerzen	61
4.11	Zusammenhang zwischen der Lebensqualität und den Vorbehandlungen der PF	61
5.	Diskussion	62
5.1	Kritische Betrachtung der eigenen Studie und Vergleich der eigenen Ergebnisse mit der Literatur	62
5.2.	Limitationen	70
	Schlussfolgerung	71
	Literaturverzeichnis	72
	Eidesstattliche Versicherung	78

Lebenslauf	79
Danksagung	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomische Darstellung des Fußlängsgewölbes von medial (siehe Abbildung oben) und plantar (siehe Abbildung unten) mit Aponeurosis plantaris, die den Calcaneus und die Zehen miteinander verbindet.	14
Abbildung 2: Anatomische Darstellung des Fußlängsgewölbes.....	15
Abbildung 3 Druckschmerz in loco typico.	17
Abbildung 4: Aktive Dehnungsübungen.....	19
Abbildung 5: Schuheinlagen mit angehobenem Fußlängsgewölbe.	20
Abbildung 6: Orthovoltgerät. Ernst von Bergmann Klinikum für Radioonkologie und Strahlentherapie Potsdam.	23
Abbildung 7: Eigens erstellter Fragebogen.....	31
Abbildung 8: Patientenzahl in dem jeweiligen Bestrahlungsjahr	34
Abbildung 9: Histogramm der Altersverteilung mit Normalverteilungskurve; n=402.....	35
Abbildung 10: BMI-Klassen; n=347	36
Abbildung 11: Schmerzregion.	37
Abbildung 12: Konservative Behandlungen vor der Strahlentherapie.	41
Abbildung 13: Schmerzbedingte Einschränkung vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt, bezogen auf die Berufsausübung in der Subgruppe; n = 162.....	45
Abbildung 14: Schmerzbedingte Einschränkung vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt, bezogen auf die alltägliche Aktivität in der Subgruppe; n = 286.....	47
Abbildung 15: Schmerzbedingte Einschränkung vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt, bezogen auf den Gang in der Subgruppe; n = 293	50
Abbildung 16: Lebensqualität vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt in der Subgruppe; n = 344	52
Abbildung 17: Lebensqualität vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt, in der Gruppe mit der Schmerzintensität „stark“.	56

Abbildung 18: Geschlechtsverteilung in den jeweiligen Altersgruppen	57
Abbildung 19: Lebensqualität drei Monate nach Abschluss der RT in der Subgruppe (n = 344).	60
Abbildung 20: Lebensqualität zum Befragungszeitpunkt in der Subgruppe (n = 344).	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Demographische Eigenschaften des Patientenkollektivs; n=402	35
Tabelle 2:	Charakteristika des Patientenkollektivs	39
Tabelle 3:	Anzahl der bestrahlten Patienten in einzelnen Bestrahlungsserien	42
Tabelle 4:	Schmerzbedingte Einschränkung im Beruf vor RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt in der Gesamtgruppe	44
Tabelle 5:	Schmerzbedingte Einschränkung im Alltag vor RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt in der Gesamtgruppe	46
Tabelle 6:	Schmerzbedingte Einschränkung der Gehstrecke vor RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt in der Gesamtgruppe	48
Tabelle 7:	Lebensqualität vor RT, drei Monate nach RT und zum Befragungszeitpunkt in der Gesamtgruppe	51
Tabelle 8:	Gegenüberstellung der Schmerzintensität und der Lebensqualität vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt mittels einer Kreuztabelle, bezogen auf die Gesamtgruppe	53
Tabelle 9:	Gegenüberstellung der Schmerzstärke und der Lebensqualität vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt mittels einer Kreuztabelle, mit Fokus auf die Gruppe mit der Schmerzintensität „stark“	55
Tabelle 10:	Zusammenhang zwischen dem Alter und der schmerzbedingten Einschränkung bezogen auf den Beruf, Alltag, Gang und die Lebensqualität drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt.....	58
Tabelle 11:	Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der schmerzbedingten Einschränkung bezogen auf den Beruf, Alltag, Gang und die Lebensqualität drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt.....	58

Abkürzungsverzeichnis

BMI:	Body Mass Index
CCL20:	CC-chemokine ligand 20
ESWT:	extrakorporale Schockwellentherapie
Gy:	Gray
ICAM I:	intercellular adhesion molecule 1
ICD:	internationale statistische Klassifikation der Krankheiten
IL-1β:	Interleukin-1beta
IL-6:	Interleukin-6
iNOS:	induzierbare Stickstoffmonoxid-Synthase/Synthetase
kV:	Kilovolt
MV:	Megavolt
NSAR:	Nichtsteroidale Antiphlogistika
PF:	Plantarfasziitis
RT:	Radiotherapie
TGF-β1:	Transforming Growth Factor-beta1
TNF-α:	Tumornekrosefaktor-alpha
VNS:	verbale numerische Skala

Abstract

Aims and background: Plantar fasciitis (PF) is a common cause of calcaneal pain in adults. The analgetic effect of low-dose radiotherapy for PF has been widely published. Purpose of this retrospective study was to investigate long-term clinical outcome of radiotherapy (RT) for benign PF in a large patient cohort.

Patients and Methods: 1909 patients with PF were treated with RT at the Department of Radiation Oncology and Radiotherapy at the Ernst von Bergmann hospital in Potsdam between 2010 and 2016. To evaluate treatment responses patients were asked to self-evaluate their gait, restrictions to work, everyday life and overall quality of life prior to RT, three month after RT and at the time of the survey (2-8 years after RT) using a specifically designed questionnaire. Age, gender, BMI, laterality, pain intensity, type of pain and RT doses were recorded. 415 patients returned the outcome-questionnaire. 13 questionnaires were excluded due to lack of data.

Results: 402 patients were included in this study. The median age was 63 years (range 27- 91 years). 284 (70.6%) were women and 118 (29.4%) were men. PF was unilateral left in 159 patients (39.6%), unilateral right in 140 patients (34.8%), bilateral left>right in 29 patients (7.2%), bilateral right>left in 37 patients (9.2%) and bilateral left=right in 37 (9.2%) patients. Due to refractory pain 151 patients (37.6%) received a second and 39 patients (9.7%) a third course of RT.

Of 396 patients irradiated on orthovoltage devices, 389 received 1.0 Gy (total dose 4.0 Gy), two received 0.5 Gy (total dose 6.0 Gy) and five received more than one series of RT with differing single doses. Three patients were irradiated on a linear accelerator and three were irradiated on both linear accelerator and orthovoltage devices.

In the subgroup of patients who provided continuous information on all three time points, 35.2%/45.1% of patients reported no pain-related restrictions to their work-life three months after RT/at the time of survey, 39.5%/47.6% no pain-related restrictions to their everyday life, 42.7%/54.3% no pain-related restrictions in their gait and 32%/36% no pain-related restrictions to their overall quality of life. Comparison of self-evaluations between all three time points (before RT, three months after RT and at the time of the survey) revealed significant ($p < 0.05$) improvements regarding quality of life, gait and pain-restrictions to work and everyday life in aforementioned subgroup of patients.

Conclusion: Radiotherapy is effective in treating PF. The treatment is both safe for patients and cost-effective for healthcare.

Kurzzusammenfassung

Ziel: Plantarfasziitis (PF) ist eine der häufigsten Ursachen für Schmerzen im Fersenbereich bei Erwachsenen. Der analgetische Effekt der niedrigdosierte Strahlentherapie (RT) zur Behandlung der PF ist in zahlreichen klinischen Studien beschrieben worden. Ziel dieser retrospektiven Arbeit war es, das langfristige klinische Outcome der RT bei benigner Plantarfasziitis an einem großen Patientenkollektiv zu erfassen.

Patienten und Methodik: 1909 Patienten mit schmerzhafter PF wurden im Zeitraum von 2010 bis 2016 an der Klinik für Radioonkologie und Strahlentherapie des Ernst von Bergmann Krankenhauses in Potsdam behandelt. Zur Beurteilung des Therapieansprechens wurden Patienten gebeten mittels eines speziell erstellten Fragebogens ihre Lebensqualität, ihren Alltag sowie ihr Gangbild vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT, sowie zum Befragungszeitpunkt (2- 8 Jahre nach RT) einzuschätzen. Weiterhin wurden Alter, Geschlecht, BMI, Lateralität, Schmerzintensität, Schmerzart und Bestrahlungsdosen erfasst. 415 von 1909 bestrahlten Patienten haben den Outcome-Fragebogen beantwortet zurückgeschickt. 13 Fragebögen wurden aufgrund fehlender Daten ausgeschlossen.

Ergebnisse: Insgesamt wurden 402 Patienten in die Studie eingeschlossen. Das mittlere Alter betrug 63 Jahre (Spannweite 27-91 Jahre). 284 (70,6%) waren Frauen und 118 (29,4%) waren Männer. Die PF war bei 159 Patienten (39,6%) linksseitig lokalisiert, bei 140 Patienten (34,8%) rechtsseitig, bei 29 Patienten (7,2%) beidseitig links > rechts, bei 37 Patienten (9,2%) beidseitig rechts > links sowie bei 37 Patienten (9,2%) beidseitig links = rechts. Aufgrund refraktärer Schmerzen erhielten 151 Patienten (37,6%) einen zweiten und 39 Patienten (9,7%) einen dritten Bestrahlungszyklus. 396 Patienten wurden an einem Orthovoltgerät bestrahlt, davon erhielten 389 Patienten 1,0 Gy (Gesamtdosis 4,0 Gy), zwei Patienten 0,5 Gy (Gesamtdosis 6,0 Gy) und fünf Patienten mehr als eine Bestrahlungsserie mit unterschiedlichen Einzeldosen. Drei Patienten wurden am Linearbeschleuniger bestrahlt und drei Patienten sowohl am Linearbeschleuniger als auch am Orthovoltgerät.

In der Subgruppe von Patienten, die kontinuierlich Angaben zu jedem der drei Befragungszeitpunkte gemacht haben, hatten drei Monate nach Abschluss der RT/zum Befragungszeitpunkt: 35,2%/45,1% der Patienten keine schmerzbedingten Einschränkungen im Beruf, 39,5%/47,6% keine schmerzbedingten Einschränkungen im Alltag, 42,7%/54,3% keine schmerzbedingten Einschränkungen des Ganges sowie 32%/36% keine schmerzbedingten Einschränkungen der Lebensqualität. Aus dem Vergleich der Selbsteinschätzung zu den drei Zeitpunkten (vor RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt) ergab sich für oben genannten Patienten-

Subgruppen eine signifikante ($p < 0,05$) Verbesserung hinsichtlich der Lebensqualität, schmerzbedingter Einschränkungen in Beruf und Alltag sowie des Gangbildes der Patienten.

Schlussfolgerung: Die niedrigdosierte RT ist ein wirksames Mittel in der Behandlung der PF. Die Behandlung ist sicher für Patienten und kostengünstig für das Gesundheitssystem.

1. Einleitung

Die Plantarfasziitis (PF) ist eine der häufigsten Ursachen für Schmerzen im Fersenbereich (1-4). Circa 10 % der Bevölkerung sind einmal im Leben von dieser Erkrankung betroffen. Die Häufigkeit nimmt ab der 4. Lebensdekade zu, Frauen sind hierbei häufiger betroffen als Männer (5-7). Zu den prädisponierenden Faktoren für die Entwicklung der PF gehören Übergewicht, Fußfehlstellungen, Überbelastungen, schlechtes Schuhwerk sowie Berufe, die häufiges Stehen erfordern (2, 5, 8).

1.1 Anatomie und Funktion der Aponeurosis plantaris

Um die Pathogenese der PF und die sich daraus resultierenden Therapieansätze verständlicher zu machen, muss zunächst auf die Anatomie und die Biomechanik des Fußes eingegangen werden.

Die Aponeurosis plantaris, auch Plantarfaszie oder Plantaraponeurose genannt, ist ein breites Bündel aus Bindegewebe, welches unmittelbar unter dem subkutanen Fettgewebe der Fußsohle liegt und den Calcaneus und die Zehen miteinander verbindet (9) (Abbildung 1).

Die Aponeurosis plantaris setzt sich aus einem dicken zentralen sowie zwei dünneren medialen und lateralen Teilen zusammen. Sie entspringt als zentraler Teil an der Unterseite des Tuberculi calcanei. Der zentrale Teil teilt sich V-förmig in fünf Fasciculi longitudinales auf, die an den Köpfchen der Ossa metatarsalia ansetzen (9) (Abbildung 1).

Die Funktion der Aponeurosis plantaris ist die Aufrechterhaltung des knöchernen Fußgewölbes sowie die Stabilisierung des subkutanen Fettgewebes (9, 10). Hierfür gehen von der Aponeurosis plantaris Faserbündel aus, welche in die Haut der Fußsohle inserieren. Dabei bilden sich in dem stark belasteten Abschnitt der Ferse druckstabile Fettgewebsläppchen, die stoßdämpfend wirken (10).

Mit dem Alter nimmt das subkutane Fettgewebe ab. Dieser Prozess erhöht die mechanische Belastung auf den Knochen sowie die Aponeurosis plantaris und begünstigt eine Entzündung der Aponeurosis plantaris (11).

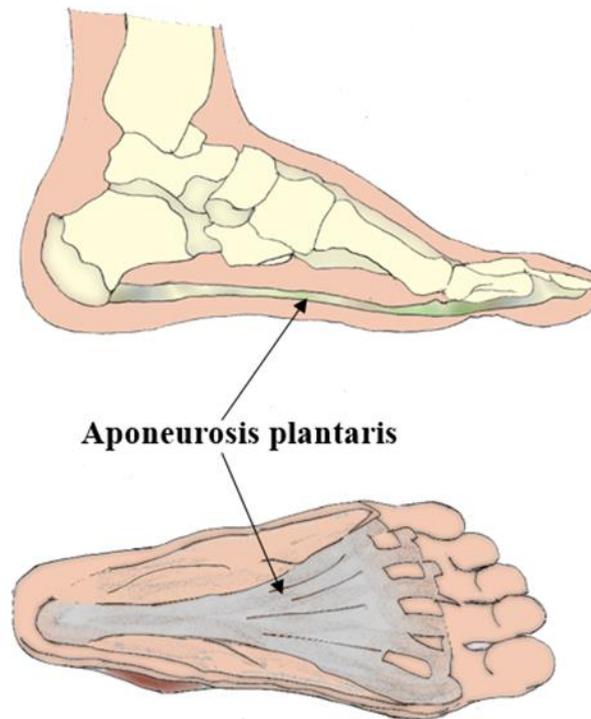


Abbildung 1: Anatomische Darstellung des Fußlängsgewölbes von medial (siehe Abbildung oben) und plantar (siehe Abbildung unten) mit Aponeurosis plantaris, die den Calcaneus und die Zehen miteinander verbindet.
Eigene Zeichnung

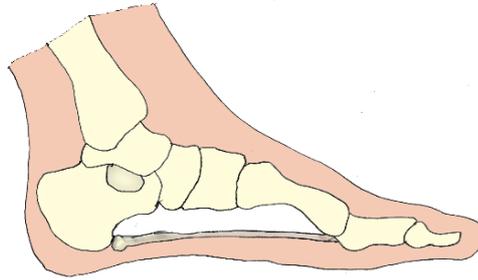
1.2 Biomechanik

J.H. Hicks beschrieb im Jahre 1954 die Mechanik des Fußes mit Hilfe des Seilwindenmechanismus, welcher in der englischsprachigen Literatur als „windlass mechanism“ bezeichnet wird und größtenteils in die deutschsprachige Literatur übernommen worden ist (12, 13).

Hierbei stellen der Fuß und seine Bänder eine bogenartige, dreieckige Struktur beziehungsweise ein Fachwerk dar (13) (Abbildung 2). Der Calcaneus, die Articulatio talonavicularis und die Metatarsalia bilden den Bogen eines Fachwerks und die Aponeurosis plantaris das Zugband, welches den Calcaneus und die Köpfchen der Ossa metatarsalia verbindet (13, 14). Durch diese Verbindung ist der Spannungszustand der Aponeurosis plantaris größtenteils von der Position der Zehen abhängig. Die Zehen können dabei biomechanisch als Hebel angesehen werden (14).

Insbesondere beim Laufen und Gehen, wenn die Zehen dorsalflektiert sind, windet sich die Aponeurosis plantaris wie eine Seilwinde um die Köpfchen der Ossa metatarsalia und verringert somit den Abstand zwischen dem Calcaneus und den Metatarsalia. Das Fußgewölbe wird dabei angehoben (14) (Abbildung 2b).

a)



b)

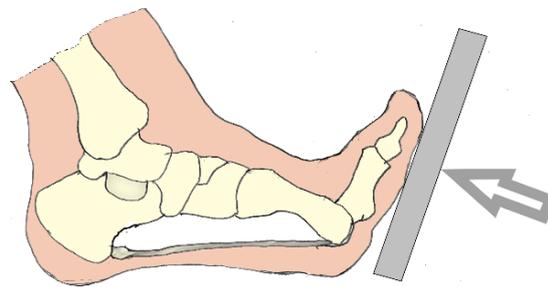


Abbildung 2: Anatomische Darstellung des Fußlängsgewölbes.
2a) Neutral eingestelltes Fußlängsgewölbe; 2b) Angehobenes Fußlängsgewölbe. Durch die Anhebung der Zehen windet sich die Aponeurosis plantaris wie eine Seilwinde um die Köpfchen der Ossa metatarsalia. Das Fußlängsgewölbe wird in Folge angehoben. Eigene Zeichnung

1.3 Pathogenese der Plantarfasziitis

Die Pathogenese der PF ist bis heute in ihrer Gesamtheit nicht vollständig erforscht (15). Es werden diverse Hypothesen diskutiert.

1.3.1 Fehlerhafte Biomechanik

Die Hauptrolle spielt hierbei die übermäßige Pronation des Fußes, wie beispielsweise im Falle einer zu stark verkürzten Wadenmuskulatur oder einer Verkürzung der Achillessehne. So führt beispielsweise eine zu stark verkürzte Wadenmuskulatur dazu, dass der Fuß bei Fortbewegung nicht ausreichend dorsalflektiert werden kann. Dies wird mit einer zu starken Pronation des Calcaneus kompensiert. Das wiederum übt auf Dauer einen biomechanischen Stress auf die Aponeurosis plantaris aus, welche sich während der Pronation in einem gespannten Zustand befindet. Die Entwicklung der PF soll dadurch begünstigt werden. Ebenso führen Fehlfunktionen beim Gang

sowie eine Reihe von Fußfehlstellungen zu einer Überpronation und in Folge zu einer dauerhaft gespannten Aponeurosis plantaris (13, 15).

1.3.2 Mechanische Überlastung

Im Rahmen einer mechanischen Überlastung entstehen am Ansatzbereich der Aponeurosis plantaris Mikrotraumata, die wiederum Reparaturvorgänge initiieren (13, 16). Diese Reparaturvorgänge werden jedoch unterbrochen, wenn es zu repetitiven Mikrotraumata kommt. Im Verlauf resultiert daraus ein chronisch-entzündlicher Prozess, der durch Umbau, Fibrose und sogar Ossifikation an der Insertionsstelle der Aponeurosis plantaris am Calcaneus gekennzeichnet ist (10).

1.3.3 Entzündungsmediatoren und Sehnenstammzellen

Neben der biomechanischen Hypothese diskutieren einige Autoren die inflammatorische Komponente, die in der Pathogenese der PF eine Rolle spielen soll. So zeigten Zhang et al. in einer Studie, dass die mechanische Überlastung der Aponeurosis plantaris einen Inflammationsprozess induziert, der in einer Überexpression von Cyclooxygenase und in einer erhöhten Produktion des Entzündungsmediators Prostaglandin E2 resultiert (15). Darüber hinaus sollen die Sehnenstammzellen eine entscheidende Rolle in der Entstehung der PF spielen. Die wiederholte Überlastung kann zu einer aberranten Differenzierung von Sehnenstammzellen in Nicht-Tenozyten führen. Dies resultiert in desorganisierten und degenerierenden Kollagenfasern, angiofibroblastischen Hyperplasien und Ossifikationen (15). Ähnliche Prozesse wurden bei Überlastung der Achillessehne, der Patellarsehne sowie der Rotatorenmanschette beobachtet (17).

1.3.4 Vertikale Kompression

Häufig wird die PF in Verbindung mit dem sogenannten Fersensporn gebracht. Der Fersensporn wurde erstmalig im Jahr 1900 von dem deutschen Chirurgen Plettner beschrieben und als Begriff in die Medizin eingeführt (6, 18-20). Bei dem plantaren Fersensporn handelt es sich um eine Exostose im Ansatzbereich der Aponeurosis plantaris am Tuber calcanei mediale. Weitaus seltener und häufig asymptomatisch ist der dorsale Fersensporn im Einstrahlungsbereich der Achillessehne (6, 19, 21). Die am häufigsten vertretene Theorie für die Bildung eines Fersensorns ist die biomechanische Theorie. Diese nimmt an, dass eine übermäßige Traktion am Ursprung der Aponeurosis plantaris zur chronischen Entzündung und zur reaktiven Ossifikation führt (20, 22). Kumai et al. jedoch beobachteten, dass degenerative Veränderungen in Form von Fersenspornen ober-

flächlich an den plantaren Anteilen der Aponeurosis plantaris auftraten (22). Die Lage der Fersensporne spräche somit gegen eine weitverbreitete Meinung, dass es sich um Traktionssporne handle, stattdessen gehen Kumai et al. davon aus, dass es sich bei der Bildung der Fersensporne um eine reaktive Ossifikation im Rahmen mechanischer Belastung während der vertikalen Kompression handle. Dies ist mit den Osteophyten bei Patienten mit Arthrose vergleichbar (22).

1.4 Diagnostik

1.4.1 Anamnese und klinische Untersuchung

Mithilfe einer ausführlichen Anamneseerhebung und einer gezielten klinischen Untersuchung kann eine PF zuverlässig diagnostiziert werden (23). Bei der klinischen Untersuchung lässt sich der Schmerz durch das Palpieren des Ansatzes der Aponeurosis plantaris an der medialen Seite des Tuberculi calcanei und/oder entlang der Aponeurosis plantaris auslösen (23-25) (Abbildung 3). Eine passive Dorsalflexion der Zehen kann ebenso Schmerzen in der proximalen Aponeurosis plantaris provozieren (24). Viele Patienten berichten über Schmerzen, die vorwiegend nach dem morgendlichen Aufstehen oder nach langen Ruhephasen auftreten. In der Regel kommt es im Laufe des Tages zu einer Schmerzreduktion. Im Stehen oder Laufen kann es allerdings nach initialer Besserung zu einer Schmerzzunahme kommen (23-25). Greift man hierbei die Biomechanik auf, so kann der morgendliche Schmerz damit erklärt werden, dass die Aponeurosis plantaris in Ruhe entspannt ist. Beim Aufstehen und Auftreten wird sie plötzlich gedehnt. Dies führt zu einem morgendlichen Anlaufschmerz, der sich nach genügender Dehnung der Aponeurosis plantaris bessert (13). Ein weiterer wichtiger Bestandteil jeder klinischen Untersuchung bei PF ist die Ganganalyse. Vergleichbar mit einem Spitzfuß setzen die Patienten beim Gehen lediglich den Vorfuß auf. Die Ferse berührt dabei nicht den Boden, wodurch der Schmerz vermieden wird (24).



Abbildung 3 Druckschmerz in loco typico. Die Schmerzregion ist auf dem Foto schwarz umkreist. Eigene Fotoaufnahme

1.4.2 Radiologische Bildgebung

In der Regel ist eine Bildgebung nicht notwendig, da der Informationszugewinn nicht zu einer Änderung der Therapiestrategie führt. Jedoch wird sie bei therapieresistenten Beschwerden oder zum Ausschluss von anderen Fersenpathologien empfohlen (24). In 45% bis 85% der Fälle tritt begleitend zur PF ein Fersensporn auf (10). Studien zeigen, dass Fersensporne auch bei Patienten ohne PF auftreten, sodass eine rein bildgebende Sicherung der Diagnose nicht möglich ist (22, 24). Des Weiteren lassen sich nicht alle Fersensporne mittels seitlicher Röntgenaufnahme diagnostizieren. Beispielsweise untersuchten Kumai et al. in ihrer Studie 17 Plantaraponeurosen älterer Kadaver. Hierbei fielen in einigen Fällen Fersensporne nur mikroskopisch auf (22).

1.4.3 Sonographie

Sonographische Bildgebung ist kostengünstig und hilfreich bei der Detektion von Weichteilpathologien der Ferse. Häufig lässt sich eine verdickte Aponeurosis plantaris, größer als 4 mm, mit reaktiver Umgebungsreaktion nachweisen (24, 26).

1.4.4 Magnetresonanztomographie

Obwohl die Magnetresonanztomographie ein wertvolles Mittel zur Beurteilung von Weichteilpathologien sowohl im akuten als auch im chronischen Stadium ist, wird sie aus Kostengründen nur selten angewandt. Bei Vorliegen einer PF zeigt sich eine erhöhte Signalintensität in T2-gewichteten Bildern. Zudem sind Ödeme in umliegenden Arealen erkennbar (9, 24).

1.5 Differentialdiagnosen

Sind Anamnese und Klinik für eine PF untypisch, müssen Differenzialdiagnosen in Betracht gezogen werden. Hierzu zählen, Ermüdungsbrüche, Nervenkompressionen, rheumatische Erkrankungen, Bursitiden, um nur einige zu nennen (2, 9, 23).

1.6 Therapie

Laut Goff et al. ist die PF eine selbstlimitierende Erkrankung, die sich normalerweise innerhalb eines Jahres auch ohne eine therapeutische Intervention bessert (24). Da die Fersenschmerzen jedoch zu einem enormen Leidensdruck führen, sind viele Betroffene in ihrer Lebensqualität deutlich eingeschränkt und suchen zeitnah einen Arzt auf (3, 24). Die wesentlichen Therapieziele in der Behandlung der PF sind daher die Schmerzreduktion, Verbesserung der Lebensqualität und

Rückkehr zur täglichen körperlichen Aktivität und körperlichen Fitness (25). Hierfür stehen verschiedene Therapieansätze zur Verfügung. Die Therapie ist primär konservativ, wie zum Beispiel medikamentös, orthopädisch und physikalisch. In seltenen Fällen wird auf operative Therapieverfahren zurückgegriffen. Darüber hinaus untersuchen immer mehr Studien komplementäre und alternative Therapiemethoden (25). Bei einem breit angewandten Spektrum konservativer Therapien gibt es aktuell keine allgemein anerkannte Methode zur Behandlung dieser Erkrankung. Zu den üblicherweise verwendeten Therapiemodalitäten gehören Ruhe, verschiedene Massagetechniken, Dehnung der Aponeurosis plantaris oder der Achillessehne, nichtsteroidale Antiphlogistika (NSAR), Kortikosteroid-Injektionen, Fußpolsterung, Taping, Schuhmodifikationen, Fersenschalen, Fußorthesen und Nachtschienen (27).

1.6.1 Dehnen

Dehnen scheint die einfachste Methode zu sein, um die mit PF verbundenen Schmerzen zu lindern (28). DiGiovanni et al. zeigten in einer prospektiven randomisierten Studie, dass ein regelmäßiges



Abbildung 4: *Aktive Dehnungsübungen.
Eigene Fotoaufnahme*

Dehnen der Aponeurosis plantaris oder der Achillessehne zu einer deutlichen Schmerzreduktion führen kann (Abbildung 4). Nach 8 - wöchigem Follow-up zeigte sich, dass ein Dehnen der Aponeurosis plantaris eine stärkere Verbesserung gegenüber einem Dehnen der Achillessehne bringt (29). Nach 2-jährigem Follow-up konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen verzeichnet werden. Jedoch berichteten 92% der Patienten über eine Schmerzfreiheit (30). Auch Gupta et al. zeigten in einer doppelblinden kontrollierten randomisierten Studie, dass das Dehnen der Aponeurosis plantaris zu einer statistisch signifikanten Verbesserung sowohl der Funktion als auch der Schmerzen geführt hat, gefolgt von der Wärmebehandlung, Silikoneinlagen und Wadendehnübungen (7).

1.6.2 Schuheinlagen



Abbildung 5: Schuheinlagen mit angehobenem Fußlängsgewölbe.
Eigene Fotoaufnahme

Ein abgesenktes Fußgewölbe kann die Entstehung der PF begünstigen, da sich die Aponeurosis plantaris hierbei in einem gespannten Zustand befindet und einer dauerhaften Traktion ausgesetzt ist. Die speziellen Schuheinlagen heben das Fußgewölbe wieder an, entlasten die Aponeurosis plantaris und führen so zu einer Schmerzreduktion (24) (Abbildung 5). Eine randomisierte kontrollierte Studie verglich dabei maßgefertigte und konfektionierte orthopädische Schuheinlagen mit Placebo-Sohlen. Nach drei und zwölf Monaten konnte im Schmerzbereich kein statistisch signifikanter Unter-

schied gezeigt werden. Die Funktion hingegen war in beiden Gruppen nach drei Monaten statistisch signifikant verbessert (31). Pfeffer et al. zeigten wiederum, dass konfektionierte orthopädische Schuheinlagen im Vergleich zu den maßgefertigten deutlich effektiver waren (32). Andere Studien fanden keinen Unterschied zwischen maßgefertigten und konfektionierten Einlagen (24). Ebenso sind Ferseneinsätze sehr beliebt und sollten zu einer Schmerzlinderung beitragen (9).

1.6.3 Nachtschienen

Die Verwendung von Nachtschienen soll den morgendlichen Anlaufschmerz reduzieren. Es gibt jedoch keine randomisierten kontrollierten Studien, die dieses Ergebnis nachweisen. Eine mögliche Erklärung für eine Schmerzreduktion ist, dass die Aponeurosis plantaris sich in der Nacht in einem entspannten Zustand befindet. Bei morgendlichem Auftreten wird der Fuß proniert und die Aponeurosis plantaris dabei gedehnt. Die Nachtschiene hält den Fuß in einer neutralen Position und sorgt für eine Vordehnung der Aponeurosis plantaris (9).

1.6.4 LowDye-Taping

Osborne et al. zeigten, dass LowDye-Taping in Kombination mit der Iontophorese mit Anwendung von Dexamethason oder Essigsäure als topische Arzneistoffe eine kurzfristige Schmerzlinderung bringen kann. Bei der Iontophorese angelegter elektrischer Gleichstrom soll die Absorption der beiden Stoffe verbessern (25, 33). Andere Studien zeigten, dass allein die Taping-Therapie bereits zu einer Schmerzlinderung führen kann (28).

1.6.5 Nichtsteroidale Antirheumatika (NSAR)

Donley et al. führte eine randomisierte, Placebo - kontrollierte Studie durch, die 29 Patienten mit der Diagnose PF umfasste (27). Alle Patienten wurden einer konservativen Therapie, die das Stretching, Fersenschalen und Nachschienen umfasste, unterzogen. Die Patienten wurden zufällig einer Placebo-Gruppe oder einer NSAR-Gruppe zugeordnet. In der NSAR-Gruppe wurde Celecoxib zum Behandlungsschema hinzugefügt. Die NSAR-Einnahme in Kombination mit einem Dehnungsprogramm und einer Einlageversorgung zeigte eine Schmerzlinderung, die jedoch im Vergleich zur Placebo-Gruppe nicht signifikant war (27).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der NSAR-Einsatz im Akutstadium individuell hilfreich sein kann. Anhand der gegenwärtigen Studienlage ist jedoch die Effektivität der NSAR-Therapie nicht belegt.

1.6.6 Lokale Kortikosteroid - Injektionen

Weit verbreitet in der Behandlung der PF sind sonographisch gestützte Injektionen von Kortikosteroiden (24, 34). Einige Studien berichteten über eine kurzfristige Schmerzreduktion (2-3 Monate) auf der visuellen Analogskala im Vergleich zu den konservativen Therapiemethoden wie beispielsweise der Physiotherapie oder einer oralen NSAR-Therapie (3, 4, 9, 35). Es gibt jedoch nur eine begrenzte Evidenz im Langzeittherapieerfolg (3, 34, 35). Tsai et al. verglichen die Wirksamkeit einer sonographisch geführten und palpationsgeführten Kortikosteroid - Injektion miteinander (36). Hierbei führte die sonographisch geführte Injektion zu einer niedrigeren Rezidivrate von Fersenschmerzen im Vergleich zur palpationsgeführten Injektion (36).

Festzuhalten ist, dass obwohl die lokalen Kortikosteroid - Injektionen weit verbreitet sind und zu den bevorzugten Maßnahmen zählen, die unerwünschten Nebenwirkungen wie Atrophie des plantaren Fettpolsters oder Ruptur der Aponeurosis plantaris nicht vernachlässigt werden dürfen (25, 34).

1.6.7 Needling, Platelet-Rich-Plasma oder Injektionen von Botuliniumtoxin

Den alternativen Therapiemethoden wie beispielsweise Needling, Platelet-Rich-Plasma oder Injektionen von Botuliniumtoxin werden ebenso positive Behandlungseffekte zugeschrieben (9, 24, 25). Das Platelet-Rich-Plasma soll durch die darin enthaltene hohe Anzahl von Thrombozyten und Wachstumsfaktoren die Reparaturvorgänge im degenerativen Gewebe stimulieren (24, 25). Die Botuliniumtoxin A-Injektionen sollen nicht nur zur passageren Lähmung der

Muskeln führen, sondern auch eine analgetische und entzündungshemmende Wirkung besitzen (34, 37).

1.6.8 Extrakorporale Schockwellentherapie

Die extrakorporale Schockwellentherapie (ESWT) ist ein häufig vorgeschlagener Ansatz zur Behandlung einer chronischen PF (24). Einige gut konzipierte Level I-Studien haben die Effektivität der ESWT bei der Behandlung der PF gezeigt (11, 34, 38). Etwa 60% bis 80% der mit ESWT behandelten Patienten berichteten über eine signifikante Schmerzlinderung (34). Hammer et al. zeigten nach einem 2-jährigen Follow-up nach der ESWT eine signifikante Schmerzreduktion um ca. 90 % auf der visuellen Analogskala (38). Einige Studien verglichen die ESWT mit einer Placebo-Behandlung. Im Vergleich zur Placebo-Gruppe berichtete die ESWT-Gruppe über eine deutliche Schmerzreduktion auf der visuellen Analogskala (39). Eine weitere randomisierte kontrollierte Studie zeigte beim Vergleich von ESWT mit Kortikosteroid-Injektionen eine Schmerzreduktion nach 4 und 12 Wochen in der ESWT-Gruppe (40).

Über den eigentlichen Therapiemechanismus wird bis heute gerätselt. Die Stoßwellen sollen kleinste Risse in der Aponeurosis plantaris erzeugen, die eine Revaskularisation sowie Rekrutierung von Wachstumsfaktoren und Stammzellen provozieren. All diese Prozesse kurbeln dann die Reparaturvorgänge an der Faszie an (9, 34).

Die Stoßwellen können elektrohydraulisch, elektromagnetisch oder piezoelektrisch erzeugt werden. In der Behandlung der PF werden elektrohydraulische (hoch-energetische) oder elektromagnetische (nieder-energetische) Stoßwellen verwendet. Die Ergebnisse mehrerer randomisierter kontrollierter Studien unterstützten beide Ansätze (34).

1.6.9 Operative Maßnahmen

Die Mehrzahl der Patienten ist mit einer konservativen Therapie der PF zufrieden (41). Mit einem chirurgischen Eingriff werden Patienten konfrontiert, die nach mehr als sechs Monaten nicht auf konservative Therapieverfahren angesprochen haben (9, 24, 41). Es werden sowohl offen chirurgische als auch endoskopische Verfahren durchgeführt. Welche der beiden Verfahren zu einem besseren Ergebnis führt, wird aufgrund mangelnder Studienlage kontrovers diskutiert (9). Es wird zwischen einer kompletten- oder partiellen Fasziotomie unterschieden. Bei der partiellen Fasziotomie werden weniger als 50% der Aponeurosis plantaris entfernt. Dies soll vermeiden, dass das Fußgewölbe in sich kollabiert (9). Eine retrospektive Analyse von Yuan et al. verglich nach einem 58-monatigen Follow-up das Therapieansprechen einer offenen partiellen Fasziotomie mit einer

perkutanen Hochfrequenzablationstherapie. In beiden Gruppen konnte eine Schmerzreduktion verzeichnet werden. Die Fasziotomie-Gruppe zeigte dabei längere Genesungszeiten, wohingegen die Gruppe mit der Hochfrequenzablationstherapie zeitnah wieder am alltäglichen Leben teilhaben konnte (41).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass nicht nur die lange Genesungszeit und Immobilisation nach einer Operation, sondern auch mögliche Komplikationen wie das Risiko einer Nervenverletzung, Calcaneusfraktur oder Abflachung des Fußgewölbes zu den Nachteilen dieses Verfahrens zählen (24).

1.6.10 Strahlentherapie

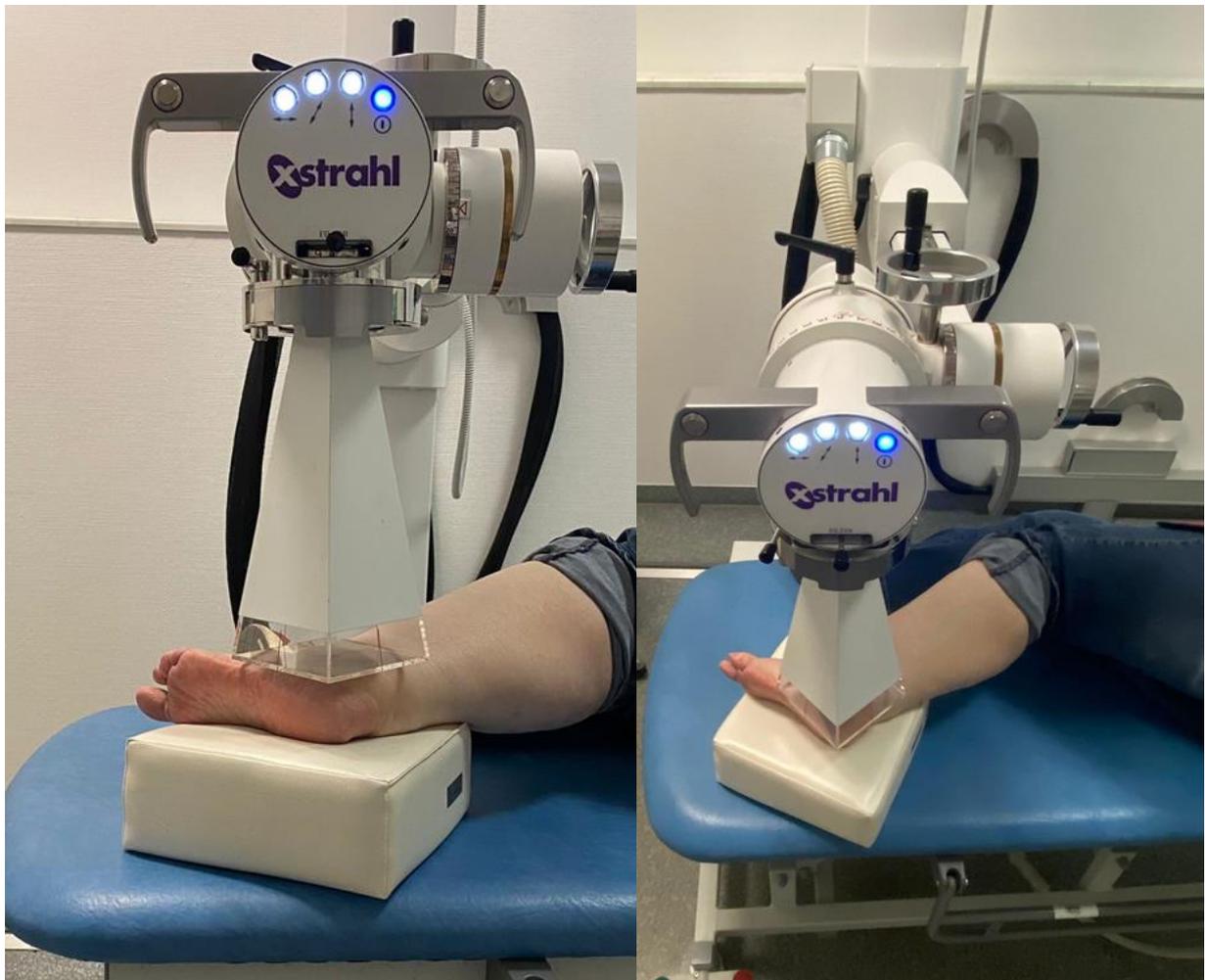


Abbildung 6: Orthovoltgerät. Ernst von Bergmann Klinikum für Radioonkologie und Strahlentherapie Potsdam. Anwendung der niedrigdosierte Strahlentherapie in der Behandlung der PF. Eigene Fotoaufnahme

Die Strahlentherapie nimmt einen großen Stellenwert in der Behandlung von onkologischen Erkrankungen ein. Ihre Bedeutung in der Therapie von nicht-onkologischen Erkrankungen ist weniger bekannt (42). Dabei handelt es sich um ein umfangreiches Spektrum an degenerativen und

chronisch-entzündlichen Erkrankungen, zu denen auch die PF zählt, die strahlentherapeutisch behandelt werden können.

Ein wesentlicher Unterschied zur Strahlentherapie von onkologischen Erkrankungen ist die Strahlenqualität. Im Vergleich zur Therapie von Krebserkrankungen werden bei der Therapie von gutartigen Erkrankungen deutlich niedrigere Strahlendosen verwendet. Es wird deshalb auch von einer niedrigdosierten Strahlentherapie gesprochen (Abbildung 6). Einige Studien zeigten eine modulierende und entzündungshemmende Wirkung der niedrigdosierten Strahlentherapie (43-47). Die zugrundeliegenden Wirkmechanismen sind komplex, multifaktoriell und bis heute nicht ausreichend erforscht (43).

Eine Entzündung ist eine Reaktion des Körpers auf schädigende Reize. Hierbei interagieren viele Zellen des Immunsystems miteinander, unter anderem die Endothelzellen, Leukozyten, polymorphkernigen neutrophilen Granulozyten und Monozyten. Monozyten entwickeln sich nach dem Einwandern in das Gewebe zu Makrophagen. Die aktivierten Makrophagen wiederum setzen die drei wichtigsten Entzündungsmediatoren, Il-6, Il-1 β und TNF- α , frei (46).

TNF- α beispielsweise aktiviert weitere Makrophagen und Endothelzellen, die ihrerseits inflammatorische Zytokine produzieren. Dabei kommt es zu einer Freisetzung von Chemokinen, die zu einer Einwanderung von Leukozyten aus der Blutbahn an den Entzündungsort führt. Neben den Chemokinen sind zudem die Adhäsionsmoleküle auf Leukozyten und Endothelzellen beteiligt. Auch hier spielt TNF- α eine entscheidende Rolle. Es führt zu einer Hochregulierung von Selektinen und ICAM-1 am Gefäßendothel. Dadurch können Leukozyten mittels Integrin an ICAM-1 der Endothelzellen anbinden, die Endothelschicht überqueren und an die Entzündungsquelle gelangen (46). Außerdem induziert TNF- α die Synthese der Stickstoffmonoxid-Synthetase in den Makrophagen, was wiederum zu einer vermehrten Bildung von Stickstoffmonoxid-Radikalen führt. Studien zeigten, dass genau diese Zellen mit den beschriebenen Prozessen zu den Zielzellen der niedrigdosierten Strahlentherapie gehören (48).

In vitro-Untersuchungen von Hildebrandt et al. zeigten, dass eine niedrigdosierte Strahlentherapie von 0,3 Gy bis 0,6 Gy in Abhängigkeit von der Zytokin-vermittelten Selektin-Präsentation die Leukozytenadhäsion herabsetzen kann (46). Weitere entzündungshemmende Wirkungen einer niedrigdosierten Strahlentherapie sind eine TGF- β 1-vermittelte Herabsetzung der CCL20-Sekretion, welche sich wiederum in einer Reduktion der Adhäsion von polymorphkernigen neutrophilen Granulozyten an der Endotheloberfläche auswirkt und zum anti-inflammatorischen Effekt beiträgt (43, 44).

Makrophagen, die in den Inflammationsort einwandern, bilden über die Expression der induzierbaren Stickoxidsynthetase (iNOS) Stickoxid, wodurch zytotoxische Effekte vermittelt werden. In

einer weiteren Studie zeigten Hildebrandt et al. eine inhibitorische Wirkung niedriger Strahlendosen ($<1,25$ Gy) auf den iNOS-Pathway aktivierter Makrophagen (45).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine niedrigdosierte Strahlentherapie ein wichtiger Baustein der anti-inflammatorischen Effekte ist.

2. Zielsetzung der Arbeit

Die Plantarfasziitis ist eine der häufigsten Ursachen für Schmerzen im Fersenbereich bei Erwachsenen. Die niedrigdosierte Strahlentherapie bietet neben der konservativen und chirurgischen Behandlung eine Therapieoption bei der Behandlung der schmerzhaften Plantarfasziitis. Der analgetische Effekt der niedrigdosierte Strahlentherapie ist in zahlreichen klinischen Studien beschrieben worden. Dennoch gibt es nur wenige Studien, die das langfristige klinische Outcome der Strahlentherapie an einem großen Patientenkollektiv untersuchen.

Das Schmerzempfinden und die Lebensqualität sind stets subjektiv zu werten. Somit kann nur der Patient selbst den Verlauf seiner Schmerzanamnese und seine Lebensqualität beschreiben. Der Ansatz unserer Studie und speziell der Befragung war es, die subjektive Schmerzwahrnehmung und den Einfluss dieser auf die Bewertung der Lebensqualität zu erfassen und die Veränderungen in der patientenbezogenen Lebensqualität nach der strahlentherapeutischen Behandlung der Plantarfasziitis aufzuzeigen. Ein weiterer Fokus lag auf der Bewertung der schmerzbedingten Einschränkung im Beruf, Alltag und Gang nach der Strahlentherapie.

Das Hauptziel der Arbeit war es, an einem großen Patientenkollektiv das langfristige klinische Outcome bei Patienten mit Plantarfasziitis mit besonderem Fokus auf die subjektiv wahrgenommenen Verläufe der Beschwerden nach der strahlentherapeutischen Behandlung zu erfassen, zu analysieren und im Kontext der aktuellen wissenschaftlichen Literatur zu interpretieren.

3. Patienten und Methoden

3.1 Studiendesign

An der Klinik für Radioonkologie und Strahlentherapie des Ernst von Bergmann Krankenhauses in Potsdam wurde in einer Versorgungsstudie im retrospektiven Design das langfristige klinische Outcome der strahlentherapeutischen Behandlung der Plantarfasziitis untersucht.

Die Studie setzte sich aus zwei Phasen zusammen. Hierzu wurden zunächst in einer Pilotphase die Patienten, die in den Jahren 2005 bis 2016 mit der Diagnose Plantarfasziitis bestrahlt wurden, zu den Effekten der Strahlentherapie bei der Behandlung der Plantarfasziitis befragt. Ziel der Pilotphase war die Gestaltung eines suffizienten Outcome-Fragebogens, der an die lokalen Gegebenheiten und das hohe Patientenalter anzupassen war.

3.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Anhand der Pilotphase wurden aufgrund mangelnder Datenzuverlässigkeit und/oder nicht mehr im Fokus stehender Erkrankung die Patienten, welche im Zeitraum von 2005 bis 2009 bestrahlt wurden, aus der zweiten Phase ausgeschlossen. Weitere Ausschlusskriterien waren ein Alter unter 18 Jahren sowie eine fehlende Einverständniserklärung zur niedrigdosierten Strahlentherapie.

3.3 Erstellung des Fragebogens

Im Anschluss an die Pilotphase wurde ein Outcome-Fragebogen generiert, in welchem unsere Vorüberlegungen, die in der Pilotphase gesammelten Informationen sowie die Fachkenntnisse des Chefarztes der Klinik für Radioonkologie und Strahlentherapie des Ernst von Bergmann Krankenhauses, Dr. med. H. Badakhshi, kombiniert wurden.

Im Jahr 2018 erfolgte der postalische Versand des Outcome-Fragebogens an insgesamt 1909 Patienten mit der Diagnose Plantarfasziitis, welche in den Jahren 2010 bis 2016 in der Klinik für Radioonkologie und Strahlentherapie des Ernst von Bergmann Krankenhauses in Potsdam behandelt wurden.

415 von 1909 bestrahlten Patienten haben den Outcome-Fragebogen beantwortet zurückgeschickt. 13 Fragebögen wurden aufgrund fehlender Daten ausgeschlossen. Alle Patienten wurden über die Teilnahme schriftlich aufgeklärt und waren mit der Verwendung ihrer Daten einverstanden.

Abbildung 7 zeigt den selbsterstellten Outcome-Fragebogen, anhand dessen die Patienten gebeten wurden ihre Lebensqualität, ihren Beruf, Alltag sowie ihr Gangbild vor der Strahlentherapie, drei

Monate nach Abschluss der Strahlentherapie, sowie zum Befragungszeitpunkt (2-8 Jahre nach der Strahlentherapie) einzuschätzen. Weiterhin wurden Alter, Geschlecht, BMI, Lateralität, Schmerzintensität, Schmerzart und Bestrahlungsdosen erfasst. Zur weiteren Datenerfassung wurde der Zugang zu den Akten im Archiv des Ernst von Bergmann Krankenhauses gewährt. Aus den Archivdaten wurden der ICD-Code, Bestrahlungsjahr, Einzeldosis, Gesamtdosis und Bestrahlungsgerät entnommen. Zudem fanden regelmäßige Nachsorgeuntersuchungen statt. Alle Patienten wurden nach 8 – 10 Wochen zu einer Nachsorgeuntersuchung eingeladen. Bei einem nicht-
ausreichenden Ansprechen auf die niedrigdosierte Strahlentherapie wurde eine Re-Bestrahlung geplant. Die Voraussetzung für eine Re-Bestrahlung war die Einverständniserklärung des Patienten für die Strahlentherapie.

Gewicht:

Größe:

Vor der Röntgentherapie

1. In welchem Jahr traten die Schmerzen zum ersten Mal auf?

2. Wo traten die Schmerzen auf? Bitte das Zutreffende ankreuzen.

- nur links beidseitig, jedoch mehr links als rechts beidseitig, gleichmäßig
 nur rechts beidseitig, jedoch mehr rechts als links

3. Wo genau traten die Schmerzen auf und was führte zur Schmerzlinderung? Bitte das Zutreffende ankreuzen.

Lokalisation	<input type="checkbox"/> Vorfuß, Fußsohle	<input type="checkbox"/> Ferse	<input type="checkbox"/> Ferse und Übergang zum Unterschenkel	<input type="checkbox"/> überall im Fuß und Unterschenkel	<input type="checkbox"/> unklar, kann nicht eindeutig zuordnen
Art	<input type="checkbox"/> schleichend	<input type="checkbox"/> plötzlich	<input type="checkbox"/> unklar		
Zeitpunkt 1	<input type="checkbox"/> morgens, nach dem Aufstehen	<input type="checkbox"/> am Tag	<input type="checkbox"/> in der Nacht	<input type="checkbox"/> die ganze Zeit	<input type="checkbox"/> kann nicht sagen
Zeitpunkt 2	<input type="checkbox"/> bei Belastung	<input type="checkbox"/> in Ruhe	<input type="checkbox"/> die ganze Zeit	<input type="checkbox"/> kann nicht sagen	
Linderung	<input type="checkbox"/> keine	<input type="checkbox"/> durch Ruhe	<input type="checkbox"/> durch Stehen	<input type="checkbox"/> durch Bewegung	<input type="checkbox"/> durch Hüpfen/Springen
Stärke	<input type="checkbox"/> keine	<input type="checkbox"/> mild	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> unerträglich

4. Andere Beschwerden/Erkrankungen:

5. Beruf (Bitte geben Sie zusätzlich an, ob dieser stehend, sitzend oder mit viel Laufen verbunden ist):
.....

Wenn Rentner/-in bitte den ehemaligen Beruf angeben:

6. Wurde die Ausübung des Berufes durch die Beschwerden beeinflusst? Bitte das Zutreffende ankreuzen.
Wenn Rentner/-in, dann weiter mit Frage 7.

nein , ja . Wenn ja, dann:

- geringe Einschränkung, Arbeiten möglich
 deutliche Einschränkung, Arbeiten mit Anstrengung möglich
 sehr starke Einschränkung, Arbeiten nicht mehr möglich

7. Regelmäßige Aktivitäten/Sport:

8. Wie oft machen Sie Sport:

9. Wurden Ihre regelmäßigen alltäglichen Aktivitäten durch die Beschwerden beeinflusst?

Bitte ankreuzen.

nein , ja . Wenn ja, dann:

- geringe Einschränkung, fähig zu normaler Aktivität
 deutliche Einschränkung, normale Aktivität mit Anstrengung möglich
 sehr starke Einschränkung, Aktivität nicht mehr möglich

10. Wurde Ihre alltägliche Gehstrecke durch die Beschwerden beeinflusst?

Bitte ankreuzen.

nein , ja . Wenn ja, dann:

- geringe Einschränkung, Gehstrecke >2 km
 deutliche Einschränkung, Gehstrecke < 1 km
 sehr starke Einschränkung, normaler Gang nicht mehr möglich

weiter auf der Rückseite →

11. Hatten Sie Behandlungen vor der Röntgentherapie? ja , nein

12. Wenn ja, welche Art der Behandlungen hatten Sie? Bitte das Zutreffende ankreuzen.

- | Physiotherapie | Medikamente | Orthopädische Verfahren |
|--|------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Kälte/-
Wärmeanwendungen | <input type="checkbox"/> Tabletten | <input type="checkbox"/> Schiene/Cast |
| <input type="checkbox"/> Ultraschall | <input type="checkbox"/> Spritzen | <input type="checkbox"/> Schuheinlagen |
| <input type="checkbox"/> Mikrowellen | <input type="checkbox"/> Salben | <input type="checkbox"/> Spazierstock |
| <input type="checkbox"/> Elektrotherapie | | <input type="checkbox"/> sonstige, hier eingeben \longrightarrow |
| <input type="checkbox"/> Krankengymnastik | | |

13. Wie lange haben Sie die in Frage 12 genannten Behandlungen erhalten?

14. Gab es eine Besserung der Schmerzsymptomatik nach den in Frage 12 aufgeführten Behandlungen?:

ja , nein

15. Lebensqualität aus Ihrer Sicht vor der Röntgentherapie?

- absolut unzufrieden unzufrieden erträglich ging gerade so zufrieden keine Probleme

Ca. drei Monate nach der Röntgentherapie

1. Wurde die Ausübung des Berufes durch die Therapie beeinflusst? Wenn Rentner/-in, dann weiter mit Frage 2:

Bitte ankreuzen. Nein , ja Wenn ja, dann:

- keine Einschränkung des Berufes mehr
- geringe Einschränkung, Arbeiten möglich
- deutliche Einschränkung, Arbeiten mit Anstrengung möglich
- sehr starke Einschränkung, Arbeiten nicht mehr möglich

2. Wurden Ihre regelmäßigen alltäglichen Aktivitäten durch die Therapie beeinflusst?

Bitte ankreuzen. Nein , ja Wenn ja, dann:

- keine Einschränkung der Aktivitäten mehr
- geringe Einschränkung, fähig zu normaler Aktivität
- deutliche Einschränkung, normale Aktivität mit Anstrengung möglich
- sehr starke Einschränkung, Aktivität nicht mehr möglich

3. Wurde Ihre Gehstrecke durch die Therapie beeinflusst? Bitte das Zutreffende ankreuzen.

nein , ja . Wenn ja, dann:

- keine Einschränkung der Gehstrecke mehr
- geringe Einschränkung, Gehstrecke >2 km
- deutliche Einschränkung, Gehstrecke < 1 km
- sehr starke Einschränkung, normaler Gang nicht mehr möglich

4. Traten Nebenwirkungen nach/während der Röntgentherapie?

ja , nein

Wenn ja, welche (z.B. Schmerzverstärkung während der Bestrahlung)

5. Lebensqualität aus Ihrer Sicht ca. 3 Monate nach der Röntgentherapie?

- absolut unzufrieden unzufrieden erträglich ging gerade so zufrieden keine Probleme

Der Stand aus heutiger Sicht

1. Wurde die Ausübung des Berufes langfristig durch die Therapie beeinflusst? Wenn Rentner/-in, dann weiter mit Frage 2:

Bitte ankreuzen.

nein , ja . Wenn ja, dann:

- keine Einschränkung des Berufes mehr
- geringe Einschränkung, Arbeiten möglich
- deutliche Einschränkung, Arbeiten mit Anstrengung möglich
- sehr starke Einschränkung, Arbeiten nicht mehr möglich

2. Wurden Ihre regelmäßigen alltäglichen Aktivitäten langfristig durch die Therapie beeinflusst? Bitte ankreuzen.

nein , ja . Wenn ja, dann:

- keine Einschränkung der Aktivitäten mehr
- geringe Einschränkung, fähig zu normaler Aktivität
- deutliche Einschränkung, normale Aktivität mit Anstrengung möglich
- sehr starke Einschränkung, Aktivität nicht mehr möglich

3. Wurde Ihre Gehstrecke langfristig durch die Therapie beeinflusst? Bitte das Zutreffende ankreuzen.

nein , ja . Wenn ja, dann:

- keine Einschränkung der Gehstrecke mehr
- geringe Einschränkung, Gehstrecke >2 km
- deutliche Einschränkung, Gehstrecke < 1 km
- sehr starke Einschränkung, normaler Gang nicht mehr möglich

4. Lebensqualität aus Ihrer Sicht nach der Röntgentherapie (aktuell)?

absolut unzufrieden unzufrieden erträglich ging gerade so zufrieden keine Probleme

5. Haben Sie momentan zusätzliche Behandlungen/Therapien? ja , nein

6. Wenn ja, welche Art der Behandlungen haben Sie? Bitte das Zutreffende ankreuzen.

- | Physiotherapie | Medikamente | Orthopädische Verfahren |
|--|------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Kälte/-Wärmeanwendungen | <input type="checkbox"/> Tabletten | <input type="checkbox"/> Schiene/Cast |
| <input type="checkbox"/> Ultraschall | <input type="checkbox"/> Spritzen | <input type="checkbox"/> Schuheinlagen |
| <input type="checkbox"/> Stoßwellentherapie | <input type="checkbox"/> Salben | <input type="checkbox"/> Spazierstock |
| <input type="checkbox"/> Elektrotherapie | | <input type="checkbox"/> sonstige, hier eingeben → |
| <input type="checkbox"/> Krankengymnastik | | |

7. Gab es eine Besserung der Schmerzsymptomatik nach der in Frage 6 genannten Behandlung?

ja , nein

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

Abbildung 7: Eigens erstellter Fragebogen

3.4 Statistische Auswertung

Die statistische Beratung fand zu Beginn sowie am Ende der Arbeit am Institut für Biometrie und klinischer Epidemiologie der Charité Universitätsmedizin Berlin statt.

Die Daten aus dem Archiv und den Fragebögen wurden in einer „Microsoft Excel 2013“ Tabelle zusammengetragen. Patientendaten wurden in Form von laufenden Zahlen und Geburtsdaten pseudonymisiert. Die Erfassung der Ausprägung einzelner Variablen erfolgte zahlenkodiert.

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels IBM© SPSS© Statistics Version 25, © Copyright IBM Corporation and its licensors 1989, 2017. Dafür wurde eine in „Microsoft Excel 2013“ angelegte Tabelle mit oben beschriebenen Inhalten in SPSS importiert. Diagramme und Tabellen wurden mit SPSS erstellt und mit „Microsoft Word 2013“ oder/ und „Microsoft Excel 2013“ formatiert.

Die deskriptive Beschreibung kontinuierlicher Variablen erfolgte als Mediane und Interquartilsbreite, während die kategorialen Variablen mit Anzahl und zugehörigen Prozentwerten angegeben wurden.

Um Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Variablen zu berechnen, wurde eine Korrelation nach Spearman durchgeführt.

Die Auswertungen erfolgten mit nicht-parametrischen Verfahren, da diese robust gegenüber Ausreißern und nicht normalverteilten Daten sind. Zudem können die Daten auch bei ordinal skalierten Werten eingesetzt werden.

Der Kruskal-Wallis-Test wurde verwendet, um Unterschiede zwischen mehr als zwei Gruppen zu untersuchen.

Für den Vergleich von Variablen in zwei unabhängigen Gruppen wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet.

Der Wilcoxon-Test, auch Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test genannt, wurde für den Vergleich zweier abhängiger Variablen verwendet.

Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Ergebnisse wurden entsprechend dann als signifikant gewertet, wenn die Nullhypothese mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ abgelehnt werden konnte.

Für die statistische Auswertung wurden die Angaben der Gesamtgruppe erfasst und analysiert. Zur Gesamtgruppe gehörten Patienten, die mindestens zu einem der Zeitpunkte – vor der Strahlentherapie, drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie oder zum Befragungszeitpunkt - Angaben bezüglich der schmerzbedingten Einschränkung gemacht haben.

Um jedoch eine eindeutige Interpretierbarkeit der Dynamik des Langzeit-Outcomes aufzuzeigen, wurden Subgruppen gebildet. Diese schlossen nur diejenigen Patienten ein, die kontinuierlich zu jedem der drei Befragungszeitpunkte Angaben bezüglich der schmerzbedingten Einschränkung im Beruf, Alltag, Gang und der Lebensqualität gemacht haben. Die Patienten, die vor der Strahlentherapie keine schmerzbedingte Einschränkung angaben, wurden in diese Subgruppen nicht eingeschlossen.

4. Ergebnisse

4.1 Charakteristika des Patientenkollektivs

In den Jahren 2010 bis 2016 wurden 402 Patienten mit einer schmerzhaften PF, davon zusätzlich 325 Patienten (80,8%) mit einem schmerzhaften Fersensporn, bestrahlt. Der Abbildung 8 ist zu entnehmen, dass 286 Patienten (71,2%) in den Jahren 2014 bis 2016, 106 Patienten (26,4%) in den Jahren 2012 bis 2013 und 10 Patienten (2,4%) in den Jahren 2010 bis 2011 bestrahlt wurden.



Abbildung 8: Patientenanzahl in dem jeweiligen Bestrahlungsjahr

4.1.1 Geschlecht und Alter

Tabelle 1 und Abbildung 9 zeigen die Alters- und Geschlechtsverteilung im untersuchten Kollektiv. Von 402 Patienten waren 284 Patienten (70,6%) weiblich und 118 Patienten (29,4%) männlich. Zum Zeitpunkt der Vorstellung zur Strahlentherapie betrug das Altersmedian 63 Jahre (Spannweite: 27-91 Jahre) (Tabelle 1). Ein Alterspeak lag auf der Höhe des Medians vor. Wobei ein zweiter Peak zwischen 72-73 Jahren zu beobachten war. Nur 10 Patienten (2,5%) waren jünger als 40 Jahre.

Tabelle 1: Demographische Eigenschaften des Patientenkollektivs; n=402

	Häufigkeit--	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Patientenkollektiv gesamt	402			
Geschlecht				
weiblich	284	70,6	70,6	70,6
männlich	118	29,4	29,4	100,0
Lebensalter zum Bestrahlungszeitpunkt				
Mittelwert	61,94			
Median	63,00			
Spannweite	64			
Minimum	27			
Maximum	91			

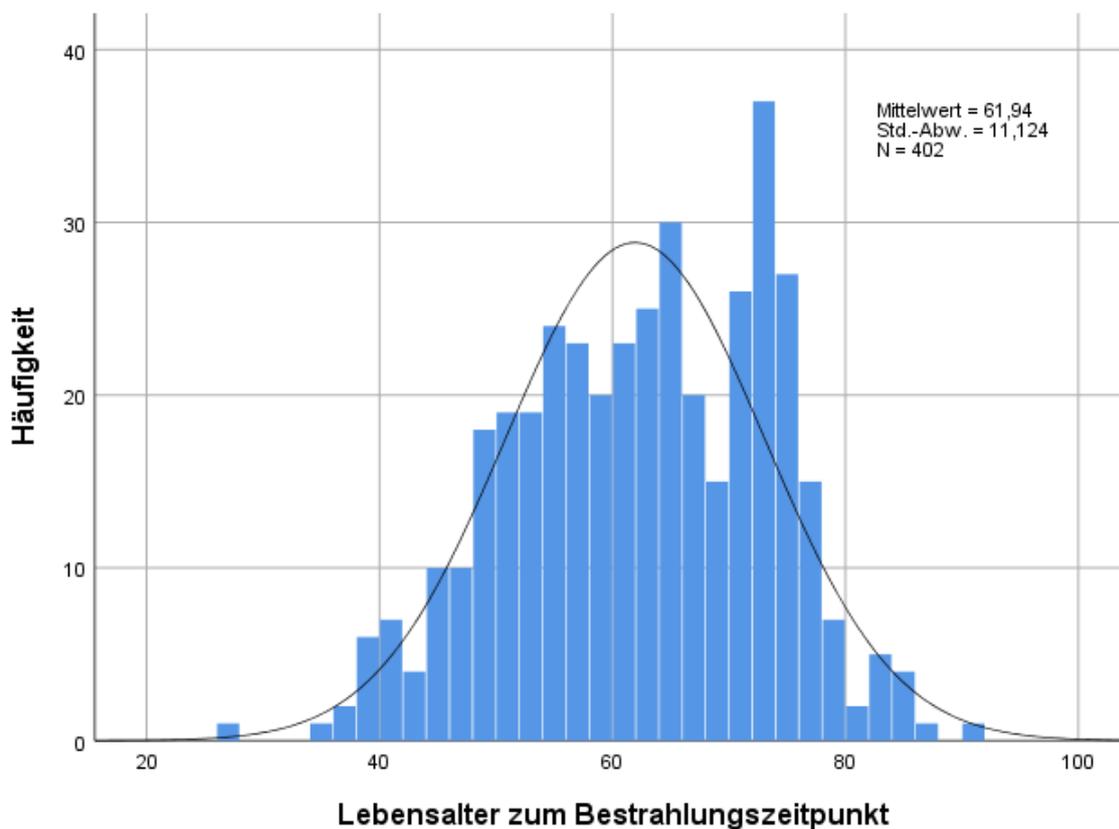


Abbildung 9: Histogramm der Altersverteilung mit Normalverteilungskurve; n=402

4.1.2 Beruf beziehungsweise ehemaliger Beruf

Im Outcome-Fragebogen wurden die Patienten befragt, ob ihr jetziger, beziehungsweise ehemaliger Beruf am ehesten mit Laufen, Sitzen oder Stehen verbunden ist oder verbunden war. Einen

sitzenden Beruf übten 208 Patienten (51,7%) aus, einen laufenden Beruf 69 Patienten (17,2%) und einen stehenden Beruf 60 Patienten (14,9 %). 65 Patienten haben keine Angaben gemacht (16,2%).

4.1.3 Body-Mass-Index

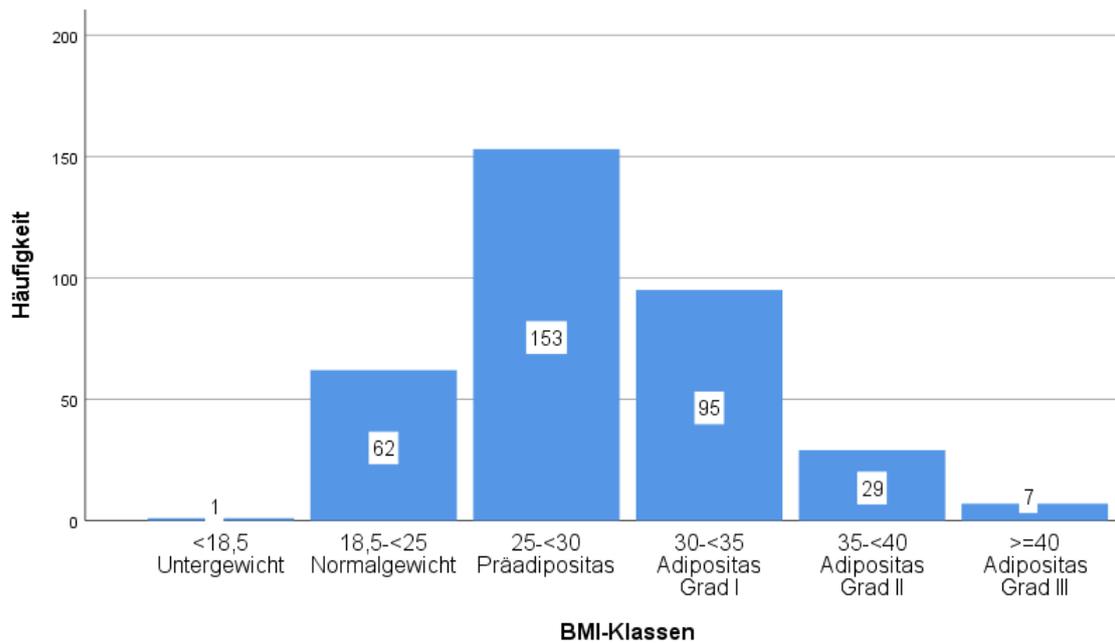


Abbildung 10: BMI-Klassen; n=347

Von 402 Patienten gaben 347 Patienten (86,3%) ihr Gewicht und ihre Größe an. Daraus konnte der Body-Mass-Index (BMI) berechnet und den BMI-Klassen zugeordnet werden.

Es zeigte sich, dass von 347 Patienten (100%) 153 Patienten (44,1%) präadipös waren, 95 Patienten (27,4%) einen Adipositas Grad I, 29 Patienten (8,4%) einen Adipositas Grad II und 7 Patienten (2,0%) einen Adipositas Grad III hatten. Nur 62 Patienten (17,9%) waren normgewichtig und eine Person (0,3%) untergewichtig. Von 402 Patienten konnte bei 55 Patienten (13,7%) kein BMI berechnet werden, da entweder keine Angaben zur Größe und Gewicht gemacht wurden oder die Angaben unvollständig waren (Abbildung 10).

Nach Spearman-Korrelation konnte ein schwacher signifikanter Zusammenhang zwischen dem BMI und der Schmerzstärke gezeigt werden ($r = 0,106$, $p = 0,056$), der jedoch nur vorsichtig als Tendenz zu verstehen ist, da der p-Wert nicht kleiner als 0,05 ist.

4.2 Schmerzerfassung

Einen umfangreichen Teil des Fragebogens nahm die Schmerzerfassung ein. Die Patienten wurden zu folgenden Punkten ausführlich befragt: Schmerzregion, Schmerzlokalisierung, Schmerzintensität, Schmerzcharakter, Schmerzbeginn, schmerzverstärkende und schmerzlindernde Umstände.

4.2.1 Schmerzregion und Schmerzlokalisierung

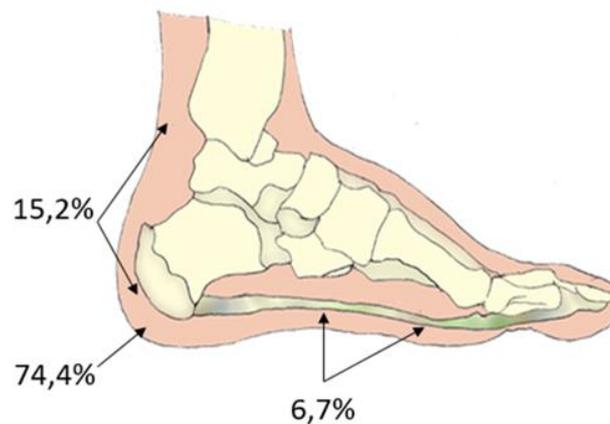


Abbildung 11: Schmerzregion.

74,4% Fersenschmerzen, 15,2 % Schmerzen in der Ferse mit Ausstrahlung in den distalen Unterschenkel, 6,7% Schmerzen in der Fußsohle mit Ausstrahlung in den Vorfuß. Eigene Zeichnung

Die Mehrzahl der Patienten gab Schmerzen in der Ferse an ($n = 299$, 74,4%). Am zweithäufigsten wurde über Schmerzen in der Ferse mit Ausstrahlung in den distalen Unterschenkel berichtet ($n = 61$; 15,2%), gefolgt von Schmerzen in der Fußsohle mit Ausstrahlung in den Vorfuß ($n = 27$; 6,7%) (Tabelle 2, Abbildung 11). Über Schmerzen im ganzen Fuß und Unterschenkel berichteten 10 Patienten (2,5%). Und nur drei Patienten (0,7 %) konnten zur Zeit der Befragung keine eindeutigen Angaben zur ehemaligen Schmerzregion machen (Tabelle 2).

Bei 159 Patienten (39,6%) waren die Schmerzen linksseitig und bei 140 Patienten (34,8%) rechtsseitig lokalisiert. Über beidseitigen Schmerz klagten 103 Patienten (25,6%), wobei bei 29 Patienten (7,2%) die linke Seite und bei 37 Patienten (9,2%) die rechte Seite dominierend war. Gleichmäßige, beidseitige Schmerzen gaben 37 Patienten (9,2%) an (Tabelle 2).

4.2.2 Schmerzintensität

Die Schmerzen wurden von 260 Patienten (64,7%) als stark beschrieben. Von 260 Patienten war der Schmerz bei 194 Patienten (74,6%) einseitig und bei 66 Patienten (25,4%) beidseitig lokalisiert. 37 Patienten (9,2%) berichteten über unerträgliche Schmerzen (Tabelle 2). Hierbei war der Schmerz bei 23 Patienten (62,2%) einseitig lokalisiert und bei 14 Patienten (37,8%) beidseitig lokalisiert.

4.2.3 Schmerzcharakter und Schmerzrhythmik

Einen schleichenden Schmerzcharakter gaben 214 Patienten (53,2%) an. 127 Patienten (31,6%) berichteten über ein plötzliches Schmerzeinsetzen. 18 Patienten (4,5%) beschrieben den Schmerzcharakter als unklar. 43 Patienten (10,7%) haben keine Angaben gemacht (Tabelle 2).

Dauerschmerz wurde von 155 Patienten (38,6%) angegeben. Über ein Schmerzaufflammen im Laufe des Tages berichteten 136 Patienten (33,8%). Nur 67 Patienten (16,7%) berichteten über Schmerzen nach dem morgendlichen Aufstehen. 10 Patienten (2,5 %) konnten sich nicht mehr an die genaue Schmerzentstehung erinnern und 30 Patienten (7,5%) haben die Frage nicht beantwortet.

4.2.4 Schmerzzunahme

Eine Schmerzzunahme bei Belastung wurde von 236 Patienten (58,7%) angegeben. 11 Patienten (2,7%) gaben dagegen eine Zunahme der Schmerzen in Ruhe an. 121 Patienten (30,1%) berichteten über einen Dauerschmerz ohne einen Unterschied bei Ruhe oder bei Belastung. Vier Patienten (1%) konnten keine eindeutige Aussage treffen.

4.2.5 Schmerzlinderung

Eine Ruhigstellung des Fußes führte bei 162 Patienten (40,3%) zu einer Schmerzlinderung. Mit Hilfe von Bewegung ließen sich die Schmerzen bei 35 Patienten (8,7%) lindern. Das Stehen brachte bei 10 Patienten (2,5%) und das Hüpfen bei einem Patienten (0,2%) eine Schmerzlinderung. 152 Patienten (37,8%) konnten keine schmerzlindernden Maßnahmen finden.

Tabelle 2: Charakteristika des Patientenkollektivs

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Pro- zente	Kumulierte Prozente
Patientenkollektiv (gesamt)	402			
Schmerzlokalisierung				
nur links	159	39,6	39,6	39,6
nur rechts	140	34,8	34,8	74,4
beidseits, li>re	29	7,2	7,2	81,6
beidseits, re>li	37	9,2	9,2	90,8
beidseits gleichmäßig	37	9,2	9,2	100,0
Gesamt	402	100,0	100,0	
Schmerzregion und Ausstrahlung des Schmerzens				
Vorfuß/Fußsohle	27	6,7	6,8	6,8
Ferse	299	74,4	74,8	81,5
Ferse, distaler Unterschenkel	61	15,2	15,3	96,8
kompletter Fuß und Unterschenkel	10	2,5	2,5	99,3
unklar, kann nicht eindeutig zugeordnet werden	3	0,7	0,8	100,0
Gesamt	400	99,5	100,0	
keine Angaben	2	0,5		
Gesamt	402	100,0		
Schmerzintensität				
mild	2	0,5	0,5	0,5
mäßig	69	17,2	18,8	19,3
stark	260	64,7	70,7	89,9
unerträglich	37	9,2	10,1	100,0
Gesamt	368	91,5	100,0	
keine Angaben	34	8,5		
Gesamt	402	100,0		
Schmerzcharakter				
schleichend	214	53,2	59,6	59,6
plötzlich	127	31,6	35,4	95,0
unklar	18	4,5	5,0	100
Gesamt	359	89,3	100	
keine Angaben	43	10,7		
Gesamt	402	100,0		

4.3 Konservative Behandlungen vor der Strahlentherapie

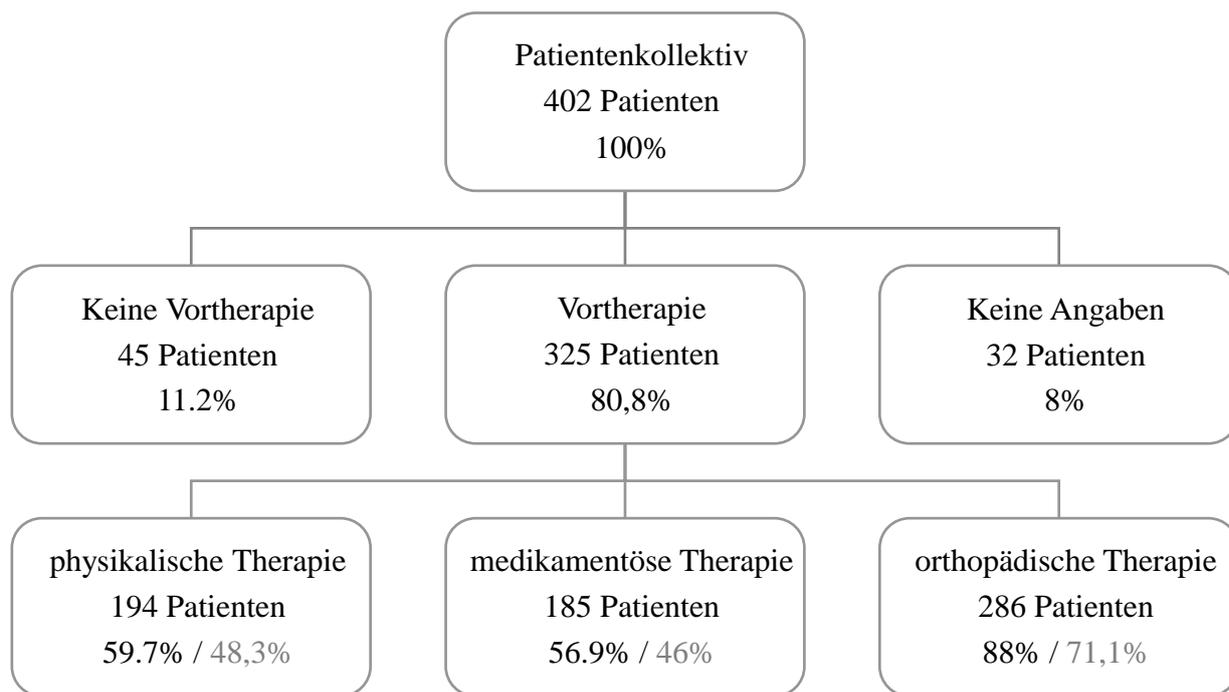
Ebenso wurde mittels des Fragebogens erfragt, ob konservative Behandlungen, medikamentös, physikalisch oder orthopädisch, vor der Strahlentherapie stattfanden.

Von 402 Patienten machten 370 Patienten (92%) Angaben zu den Behandlungen vor der Strahlentherapie. Davon erhielten 325 Patienten (80,8 %) eine Behandlung vor der Strahlentherapie und 45 Patienten (11,2%) verneinten eine Behandlung vor der Strahlentherapie (Abbildung 12).

Mehr als die Hälfte aller Patienten erhielt orthopädische Schuheinlagen (n = 262; 65,2%). Mit Ultraschall wurden 74 Patienten (18,4%) therapiert und 70 Patienten (17,4%) machten von mehreren physikalischen Behandlungen Gebrauch.

Zur analgetisch-antiphlogistischen Therapie griffen 185 Patienten (46%). Hierbei wendeten 65 Patienten (16,2%) mehrere Therapiemodalitäten an, wie beispielsweise Tabletten, Salben und Spritzen. Mit oralen Analgetika wurden 63 Patienten (15,7%) therapiert und 42 Patienten (10,4%) erhielten Injektionen (Abbildung 12). Die hier aufgeführten Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv (n = 402).

Von den Patienten, die eine Behandlung vor der Strahlentherapie erhalten haben (n = 325), gaben 187 Patienten (57,5%) keine Schmerzlinderung an. 88 Patienten (27,1%) berichteten über eine Schmerzlinderung und 50 Patienten (15,4%) haben keine Angaben hierzu gemacht.



	<i>Häufigkeit</i>	<i>%</i>		<i>Häufigkeit</i>	<i>%</i>		<i>Häufigkeit</i>	<i>%</i>
Kälte/Wärme	9	4,6	Tabletten	63	34,1	Schiene/Cast	1	0,3
Ultraschalltherapie	74	38,1	Spritzen	42	22,7	Schuheinlagen	262	91,6
Stoßwellentherapie	13	6,7	Salben	15	8,1	Spazierstock	2	0,7
Elektrotherapie	8	4,1	mehrere Ver- fahren	65	35,1	sonstige orthopäd. Maßnahmen	1	0,3
Krankengymnastik	20	10,3	Gesamt	185	100	mehrere Verfahren	20	7
mehrere Verfahren	70	36,1				Gesamt	286	100
Gesamt	194	100						

Abbildung 12: Konservative Behandlungen vor der Strahlentherapie.
Die prozentuellen Angaben beziehen sich auf die jeweiligen Obergruppen. Zum Beispiel: eine physikalische Therapie wendeten 59,7% von 325 Patienten an. Eine Ultraschalltherapie wendeten 38,1% von 194 (100%) Patienten an. Die grau hinterlegten Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv, n = 402

4.4 Bestrahlungsplan: Dosierung, Fraktionierung und Energie

Von 402 Patienten erfolgte bei 396 Patienten (98,5%) die Bestrahlung unter Einsatz eines Orthovoltgerätes mit einer Leistung von 200 kV (Abbildung 6). Von 396 Patienten setzte sich bei 389 Patienten (98,2%) eine Bestrahlungsserie aus einer Herddosis von 1 x 4 Gy und bei zwei

Patienten (0,5%) aus 0,5 x 6 Gy zusammen. Fünf Patienten (1,3%) erhielten mehr als eine Bestrahlungsserie mit unterschiedlichen Einzeldosen und wurden somit der Kategorie „Sonstige“ zugeordnet.

Von 402 Patienten wurden drei Patienten (0,7%) am Linearbeschleuniger (6 MV oder 15 MV) bestrahlt. Hierbei wurde bei zwei Patienten in zweimal wöchentlicher Fraktionierung eine Herddosis von 3 x 2 Gy und bei einem Patienten eine Herddosis von 1 x 4 Gy appliziert.

Von 402 Patienten wurden drei Patienten (0,7%), die mehr als eine Bestrahlungsserie erhalten haben, sowohl am Linearbeschleuniger als auch am Orthovoltgerät bestrahlt. Auf den Linearbeschleuniger wurde aus technischen Gründen (Orthovoltgerät war defekt) zurückgegriffen.

4.4.1 Anzahl der Bestrahlungsserien

Nach der ersten Bestrahlungsserie wurden alle Patienten nach 8 - 10 Wochen zu einer Nachsorgeuntersuchung eingeladen. Beim Nicht-Ansprechen auf die erste Bestrahlungsserie erfolgte eine zweite Bestrahlungsserie.

Nach der zweiten Bestrahlungsserie wurden die Patienten erneut nach 8-10 Wochen zu der Nachsorgeuntersuchung eingeladen. Beim Nicht-Ansprechen auf die zweite Bestrahlungsserie wurde eine dritte Bestrahlungsserie appliziert. Wie in der Tabelle 3 ersichtlich, haben 212 Patienten (52,7%) eine Bestrahlungsserie, 151 Patienten (37,6%) zwei- und 39 Patienten (9,7%) drei Bestrahlungsserien erhalten.

Tabelle 3: Anzahl der bestrahlten Patienten in einzelnen Bestrahlungsserien

	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
eine Bestrahlungsserie	212	52,7	52,7
zwei Bestrahlungsserien	151	37,6	90,3
drei Bestrahlungsserien	39	9,7	100
Gesamt	402	100	

4.5 Schmerzbedingte Einschränkung vor der Strahlentherapie, drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und zum Befragungszeitpunkt, bezogen auf die Berufsausübung, alltägliche Aktivität, Gehstrecke und Lebensqualität

Zur Erfassung des Effekts der Strahlentherapie bei der Behandlung der PF wurden die Patienten mittels eines eigenerstellten Selbsteinschätzungsscore nach schmerzbedingten Einschränkungen im Beruf, Alltag, Gang und in der Lebensqualität vor der Strahlentherapie, drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und zum Befragungszeitpunkt befragt. Der Selbsteinschätzungsscore

korrelierte dabei gut mit dem modifizierten Score nach Rowe et al. (16). Hierbei handelt es sich um einen Funktionsscore zur Einschätzung der Einschränkung vor und nach einer Therapie.

4.6 Auswertung der Therapieergebnisse in der Gesamtgruppe bezogen auf die Berufsausübung

Von 402 Patienten gaben 337 Patienten (83,8%) ihren Beruf beziehungsweise ihren ehemaligen Beruf an. Dabei wurde zwischen stehenden, laufenden und sitzenden Berufen unterschieden. Der Kruskal-Wallis-Test zeigte keinen Unterschied zwischen den Berufskategorien und der Schmerzstärke ($H(2) = 3,766, p = 0,152$).

4.6.1 Schmerzbedingte Einschränkung im Beruf vor der Strahlentherapie

Vor der Strahlentherapie berichteten von 402 Patienten insgesamt 206 Patienten (51,3%) über eine schmerzbedingte Einschränkung im Beruf. Eine geringe berufliche Einschränkung gaben 61 Patienten (15,2%) an. Aufgrund der PF waren 116 Patienten (28,9%) deutlich und 29 Patienten (7,2%) sehr stark in ihrem Beruf eingeschränkt. 105 Patienten (26,1%) negierten einen Einfluss der PF auf die Berufsausübung. Von 402 Patienten machten 91 Patienten (22,6%) keine Angaben (Tabelle 4).

4.6.2 Therapieergebnisse drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie

Bereits drei Monate nach der Strahlentherapie hatten von 402 Patienten 66 Patienten (16,4%) keine schmerzbedingte Berufseinschränkung. 47 Patienten (11,7%) berichteten über eine geringe Einschränkung, 26 Patienten (6,5%) über eine deutliche und 7 Patienten (1,7%) über eine sehr starke schmerzbedingte Einschränkung im Beruf. 45 Patienten (11,2%) gaben an, keinen Einfluss der Strahlentherapie auf die schmerzbedingte Berufseinschränkung verzeichnet zu haben. Von 402 Patienten machten 211 (52,5%) keine Angaben (Tabelle 4).

4.6.3 Therapieergebnisse zum Befragungszeitpunkt

Zum Befragungszeitpunkt gaben 94 Patienten (23,4%) an, nicht mehr durch PF im Beruf eingeschränkt zu sein. 46 Patienten (11,4%) berichteten über eine geringe, 12 Patienten (3,0%) über eine deutliche und fünf Patienten (1,2 %) über eine sehr starke schmerzbedingte Einschränkung im Beruf. 51 Patienten (12,7%) gaben an, keinen Einfluss der Strahlentherapie auf die schmerzbe-

dingte Berufseinschränkung wahrgenommen zu haben. Von 402 Patienten machten 194 Patienten (48,3%) keine Angaben (Tabelle 4). Um eine klare Verlaufsdynamik in der Gesamtgruppe aufzuzeigen, wurden die Ergebnisse in der Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Schmerzbedingte Einschränkung im Beruf vor RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt in der Gesamtgruppe

	Vor RT		3 Monate nach RT		zum Befragungszeitpunkt	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
keine Einschränkung	105	26,1	66	16,4	94	23,4
geringe Einschränkung	61	15,2	47	11,7	46	11,4
deutliche Einschränkung	116	28,9	26	6,5	12	3
sehr starke Einschränkung	29	7,2	7	1,7	5	1,2
keine Beeinflussung durch die Therapie	0	0,0	45	11,2	51	12,7
Gesamt	311	77,4	191	47,5	208	51,7
keine Angaben	91	22,6	211	52,5	194	48,3
Gesamtgruppe	402	100	402	100	402	100

4.6.4 Vergleich der schmerzbedingten Einschränkung vor der Strahlentherapie, drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und zum Befragungszeitpunkt

Hinsichtlich der Gesamtgruppe ergab sich drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie keine signifikante Verbesserung der Berufseinschränkung ($n = 169$, Wilcoxon-Test: $p = 0,076$). Zum Befragungszeitpunkt konnte eine signifikante Verbesserung der Berufseinschränkung verzeichnet werden ($n = 182$, Wilcoxon-Test: $p = 0,004$). Wie im Methodenteil erwähnt, zählten zur Gesamtgruppe die Patienten, die mindestens zu einem der Zeitpunkte Angaben bezüglich der schmerzbedingten Berufseinschränkung gemacht haben.

Hinsichtlich der Subgruppe konnten wir feststellen, dass sich sowohl drei Monate nach der Strahlentherapie ($n = 162$, Wilcoxon-Test: $p = 0,035$) als auch zum Befragungszeitpunkt ($n = 162$, Wilcoxon-Test: $p = 0,002$) eine signifikante Verbesserung der Berufseinschränkung ergab.

Die schmerzbedingte Einschränkung im Beruf vor und nach der Strahlentherapie wurde graphisch dargestellt und bezieht sich auf die Subgruppe ($n = 162$) (Abbildung 13). Das heißt, dass diejenigen Patienten, die keine Angaben vor der Strahlentherapie oder drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie oder zum Befragungszeitpunkt gemacht haben aus der statistischen Auswertung ausgeschlossen und in der Abbildung 13 nicht dargestellt wurden. Ebenso wurden Patienten, die keine

schmerzbedingte Berufseinschränkung vor der Strahlentherapie gehabt haben, demselben Prozedere unterzogen.

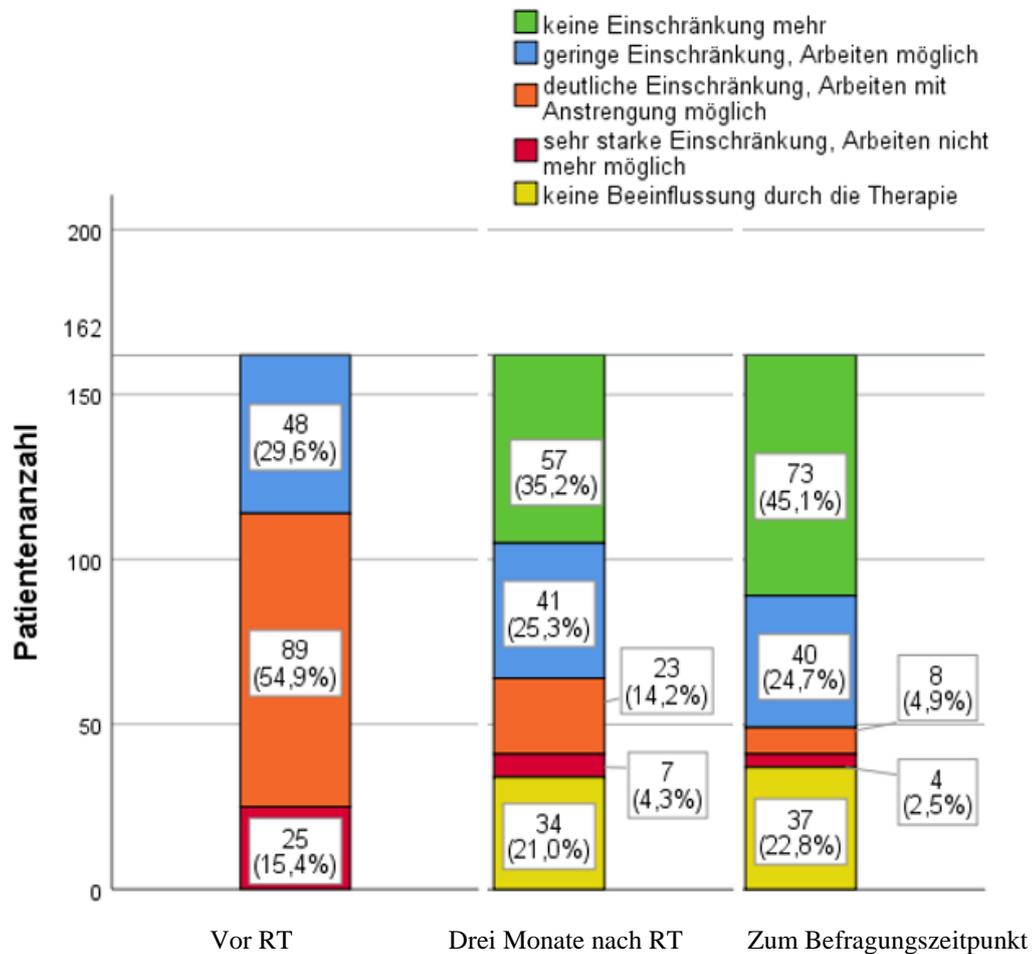


Abbildung 13: Schmerzbedingte Einschränkung vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt, bezogen auf die Berufsausübung in der Subgruppe; n = 162

4.7 Auswertung der Therapieergebnisse in der Gesamtgruppe bezogen auf die alltägliche Aktivität

4.7.1 Schmerzbedingte Einschränkung im Alltag vor der Strahlentherapie

Vor der Strahlentherapie berichteten von 402 Patienten insgesamt 84 Patienten (20,9%) über eine geringe, 203 Patienten (50,5%) über eine deutliche und 59 Patienten (14,7%) über eine sehr starke schmerzbedingte Einschränkung im Alltag. 17 Patienten (4,2%) gaben an, keinen Einfluss von PF auf den Alltag wahrgenommen zu haben. Von 402 Patienten machten 39 Patienten (9,7%) keine Angaben (Tabelle 5).

4.7.2 Therapieergebnisse drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie

Drei Monate nach der Strahlentherapie hatten von 402 Patienten 125 Patienten (31,1%) keine schmerzbedingte Alltagseinschränkung mehr. 86 Patienten (21,4%) berichteten über eine geringe, 39 Patienten (9,7%) über eine deutliche und 10 Patienten (2,5%) über eine sehr starke Einschränkung im Alltag. 59 Patienten (14,7%) gaben an, keinen Einfluss der Strahlentherapie auf die schmerzbedingte Alltagseinschränkung verzeichnet zu haben. Von 402 Patienten machten 83 Patienten (20,6%) keine Angaben (Tabelle 5).

4.7.3 Therapieergebnisse zum Befragungszeitpunkt

Zum Befragungszeitpunkt hatten von 402 Patienten 162 Patienten (40,3%) keine schmerzbedingte Alltagseinschränkung. 92 Patienten (22,9%) berichteten über eine geringe, 23 Patienten (5,7%) über eine deutliche und drei Patienten (0,7%) über eine sehr starke Einschränkung im Alltag. 69 Patienten (17,2%) gaben an, keinen Einfluss der Strahlentherapie auf die schmerzbedingte Alltagseinschränkung wahrgenommen zu haben. Von 402 Patienten machten 53 Patienten (13,2%) keine Angaben (Tabelle 5). Um eine klare Verlaufsdynamik in der Gesamtgruppe aufzuzeigen, wurden die Ergebnisse in der Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Schmerzbedingte Einschränkung im Alltag vor RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt in der Gesamtgruppe

	Vor RT		3 Monate nach RT		zum Befragungszeitpunkt	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
keine Einschränkung	17	4,2	125	31,1	162	40,3
geringe Einschränkung	84	20,9	86	21,4	92	22,9
deutliche Einschränkung	203	50,5	39	9,7	23	5,7
sehr starke Einschränkung	59	14,7	10	2,5	3	0,7
keine Beeinflussung durch die Therapie	0	0,0	59	14,7	69	17,2
Gesamt	363	90,3	319	79,4	349	86,8
keine Angaben	39	9,7	83	20,6	53	13,2
Gesamtgruppe	402	100,0	402	100,0	402	100,0

4.7.4 Vergleich der schmerzbedingten Einschränkung vor der Strahlentherapie, drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und zum Befragungszeitpunkt

Hinsichtlich der Gesamtgruppe ergab sich sowohl drei Monate nach der Strahlentherapie (n = 298, Wilcoxon-Test: p < 0,001) als auch zum Befragungszeitpunkt (n = 323, Wilcoxon-Test: p = <0,001) eine signifikante Verbesserung der schmerzbedingten Einschränkung im Alltag.

Hinsichtlich der Subgruppe konnten wir ebenso feststellen, dass sich sowohl drei Monate nach der Strahlentherapie (n = 286, Wilcoxon-Test: p = < 0,001) als auch zum Befragungszeitpunkt (n = 286, Wilcoxon-Test: p = < 0,001) eine signifikante Verbesserung der schmerzbedingten Einschränkung im Alltag ergab. Die schmerzbedingte Einschränkung im Alltag vor und nach der Strahlentherapie wurde graphisch dargestellt und bezieht sich auf die Subgruppe (n =286) (Abbildung 14).

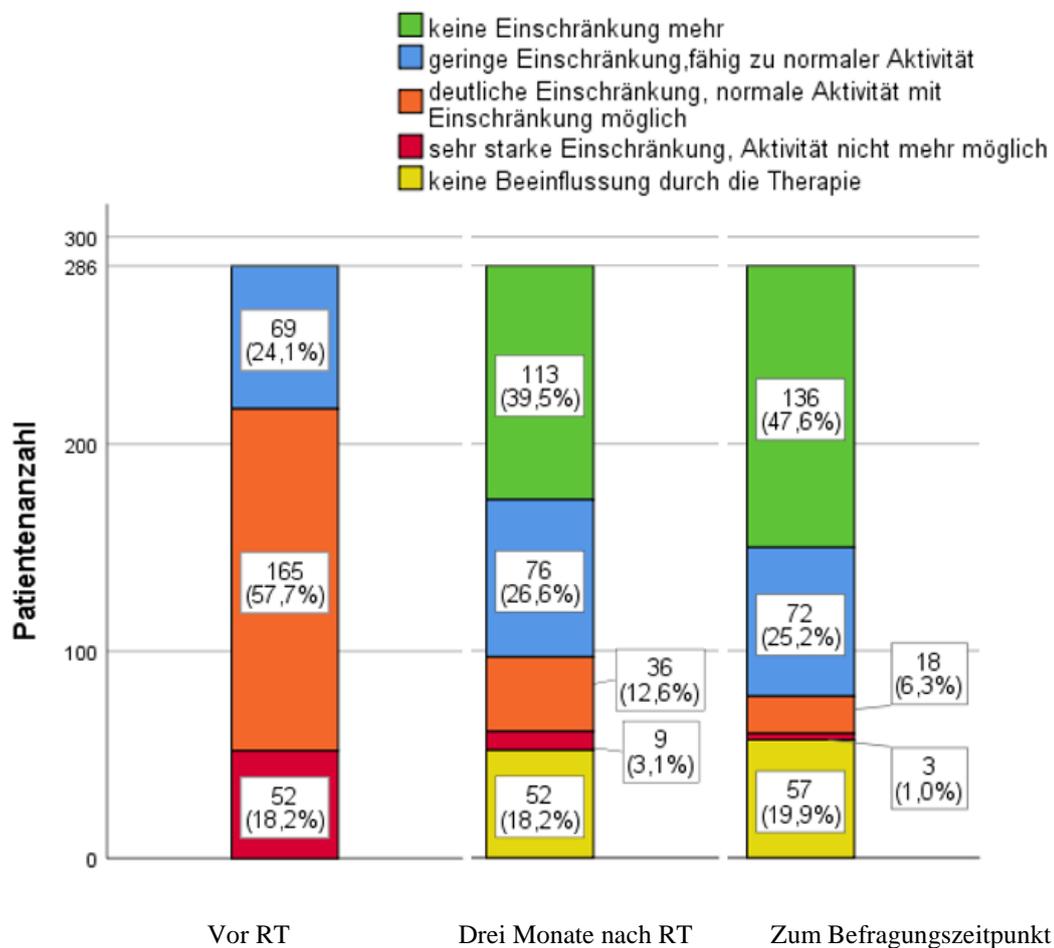


Abbildung 14: Schmerzbedingte Einschränkung vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt, bezogen auf die alltägliche Aktivität in der Subgruppe; n = 286

4.8 Auswertung der Therapieergebnisse in der Gesamtgruppe bezogen auf den Gang

4.8.1 Schmerzbedingte Einschränkung der Gehstrecke vor der Strahlentherapie

Vor der Strahlentherapie berichteten von 402 Patienten 82 Patienten (20,4%) über eine geringe, 162 Patienten (40,3%) über eine deutliche und 100 Patienten (24,9%) über eine sehr starke Einschränkung der Gehstrecke. 23 Patienten (5,7%) gaben an, dass PF ihre Gehstrecke nicht beeinflusste. Von 402 Patienten machten 35 Patienten (8,7%) keine Angaben (Tabelle 6).

4.8.2 Therapieergebnisse drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie

Drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie hatten von 402 Patienten 138 Patienten (34,3%) keine Einschränkung der Gehstrecke. 80 Patienten (19,9%) berichteten über eine geringe, 40 Patienten (10,0%) über eine deutliche und 15 Patienten (3,7%) über eine sehr starke Einschränkung der Gehstrecke. 50 Patienten (12,4%) gaben an, keinen Einfluss der Strahlentherapie auf die Gehstrecke verzeichnet zu haben. Von 402 Patienten machten 79 Patienten (19,7%) keine Angaben (Tabelle 6).

4.8.3 Therapieergebnisse zum Befragungszeitpunkt

Von 402 Patienten hatten 187 Patienten (46,5%) keine Einschränkung der Gehstrecke. 78 Patienten (19,4%) berichteten über eine geringe, 27 Patienten (6,7%) über eine deutliche und 9 Patienten (2,2%) über eine sehr starke Einschränkung der Gehstrecke. 51 Patienten (12,7%) gaben an, keinen Einfluss der Strahlentherapie auf die Gehstrecke verzeichnet zu haben. Von 402 Patienten machten 50 Patienten (12,4%) keine Angaben (Tabelle 6). Um eine klare Verlaufsdynamik in der Gesamtgruppe aufzuzeigen, wurden die Ergebnisse in der Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Schmerzbedingte Einschränkung der Gehstrecke vor RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt in der Gesamtgruppe

	Vor RT		3 Monate nach RT		zum Befragungszeitpunkt	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
keine Einschränkung	23	5,7	138	34,3	187	46,5
geringe Einschränkung, Gehstrecke > 2km	82	20,4	80	19,9	78	19,4
deutliche Einschränkung, Gehstrecke < 1km	162	40,3	40	10,0	27	6,7

sehr starke Einschränkung, normaler Gang nicht mehr möglich	100	24,9	15	3,7	9	2,2
keine Beeinflussung des Ganges durch die Therapie	0	0,0	50	12,4	51	12,7
Gesamt	367	91,3	323	80,3	352	87,6
keine Angaben	35	8,7	79	19,7	50	12,4
Gesamtgruppe	402	100,0	402	100,0	402	100,0

4.8.4 Vergleich der schmerzbedingten Einschränkung vor der Strahlentherapie, drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und zum Befragungszeitpunkt

Hinsichtlich der Gesamtgruppe ergab sich sowohl drei Monate nach der Strahlentherapie (n = 300, Wilcoxon-Test: $p < 0,001$) als auch zum Befragungszeitpunkt (n = 327, Wilcoxon-Test: $p < 0,001$) eine signifikante Verbesserung der schmerzbedingten Gehstreckeneinschränkung.

Hinsichtlich der Subgruppe stellten wir fest, dass auch hier sowohl drei Monate nach der Strahlentherapie (n = 293, Wilcoxon-Test: $p < 0,001$) als auch zum Befragungszeitpunkt (n = 293, Wilcoxon-Test: $p < 0,001$) eine signifikante Verbesserung der schmerzbedingten Gehstreckeneinschränkung eintrat. Die schmerzbedingte Einschränkung der Gehstrecke vor und nach der Strahlentherapie wurde graphisch dargestellt und bezieht sich auf die Subgruppe (n = 293) (Abbildung 15).

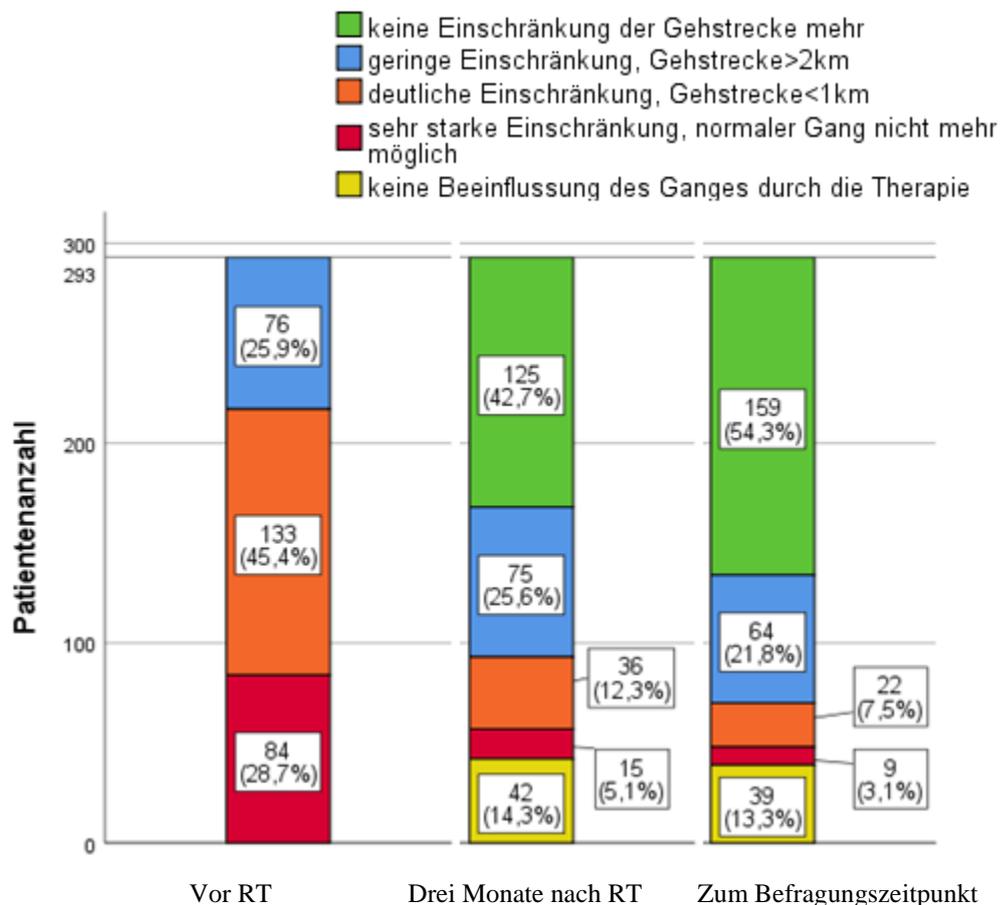


Abbildung 15: Schmerzbedingte Einschränkung vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt, bezogen auf den Gang in der Subgruppe; n = 293

4.9 Auswertung der Therapieergebnisse in der Gesamtgruppe bezogen auf die Lebensqualität

4.9.1 Lebensqualität vor der Strahlentherapie

Vor der Strahlentherapie waren von 402 Patienten 72 Patienten (17,9%) absolut unzufrieden und 169 Patienten (42,0%) unzufrieden mit ihrer Lebensqualität. 49 Patienten (12,2%) berichteten über eine erträgliche und 46 Patienten (11,4%) „gerade noch so erträgliche“ Lebensqualität. Zufrieden waren 17 Patienten (4,2%). 6 Patienten (1,5%) hatten keine Probleme. Von 402 Patienten machten 43 Patienten (10,7%) keine Angaben (Tabelle 7).

4.9.2 Lebensqualität drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie

Drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie waren von 402 Patienten 159 Patienten (39,6%) zufrieden mit ihrer Lebensqualität und 122 Patienten (30,3%) hatten bereits keine Probleme mehr.

24 Patienten (6,0%) berichteten über eine erträgliche und 16 Patienten (4,0%) „gerade noch so erträgliche“ Lebensqualität. 33 Patienten (8,2%) waren unzufrieden mit ihrer Lebensqualität und 12 Patienten (3,0 %) waren weiterhin absolut unzufrieden mit ihrer Lebensqualität. Von 402 Patienten machten 36 Patienten (9,0%) keine Angaben zu ihrer Lebensqualität (Tabelle 7).

4.9.3 Lebensqualität zum Befragungszeitpunkt

Zum Befragungszeitpunkt waren von 402 Patienten 162 Patienten (40,3%) zufrieden mit ihrer Lebensqualität und 145 Patienten (36,1%) hatten bereits keine Probleme mehr.

24 Patienten (6,0%) berichteten über eine erträgliche und 12 Patienten (3,0%) „gerade noch so erträgliche“ Lebensqualität. 38 Patienten (9,5%) waren unzufrieden und 14 Patienten (3,5 %) absolut unzufrieden mit Ihrer Lebensqualität. Von 402 Patienten machten 7 Patienten (1,7%) keine Angaben (Tabelle 7). Um eine klare Verlaufsdynamik in der Gesamtgruppe aufzuzeigen, wurden die Ergebnisse in der Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Lebensqualität vor RT, drei Monate nach RT und zum Befragungszeitpunkt in der Gesamtgruppe

	Vor RT		3 Monate nach RT		zum Befragungszeitpunkt	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
absolut unzufrieden	72	17,9	12	3,0	14	3,5
unzufrieden	169	42,0	33	8,2	38	9,5
erträglich	49	12,2	24	6,0	24	6,0
geht noch gerade so	46	11,4	16	4,0	12	3,0
zufrieden	17	4,2	159	39,6	162	40,3
keine Probleme	6	1,5	122	30,3	145	36,1
Gesamt	359	89,3	366	91,0	395	98,3
keine Angaben	43	10,7	36	9,0	7	1,7
Gesamtgruppe	402	100,0	402	100,0	402	100,0

4.9.4 Vergleich der Lebensqualität vor der Strahlentherapie, drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und zum Befragungszeitpunkt

Wie bereits gezeigt, beeinflusst die schmerzhafteste PF nicht nur den Beruf, den Alltag und den Gang des Patienten, sondern wirkt sich ferner auch negativ auf die Bewertung der Lebensqualität aus.

Hinsichtlich der Gesamtgruppe stellten wir fest, dass sowohl drei Monate nach der Strahlentherapie (n = 355, Wilcoxon-Test: p < 0,001) als auch zum Befragungszeitpunkt (n = 353, Wilcoxon-Test: p < 0,001) eine signifikante Verbesserung der Lebensqualität eintrat.

Hinsichtlich der Subgruppe ließ sich ebenfalls sowohl drei Monate nach der Strahlentherapie (n = 344, Wilcoxon-Test: p < 0,001) als auch zum Befragungszeitpunkt (n = 344, Wilcoxon-Test: p < 0,001) eine signifikante Verbesserung der Lebensqualität feststellen. Die Lebensqualität vor und nach der Strahlentherapie wurde graphisch dargestellt und bezieht sich auf die Subgruppe (n = 344) (Abbildung 16).

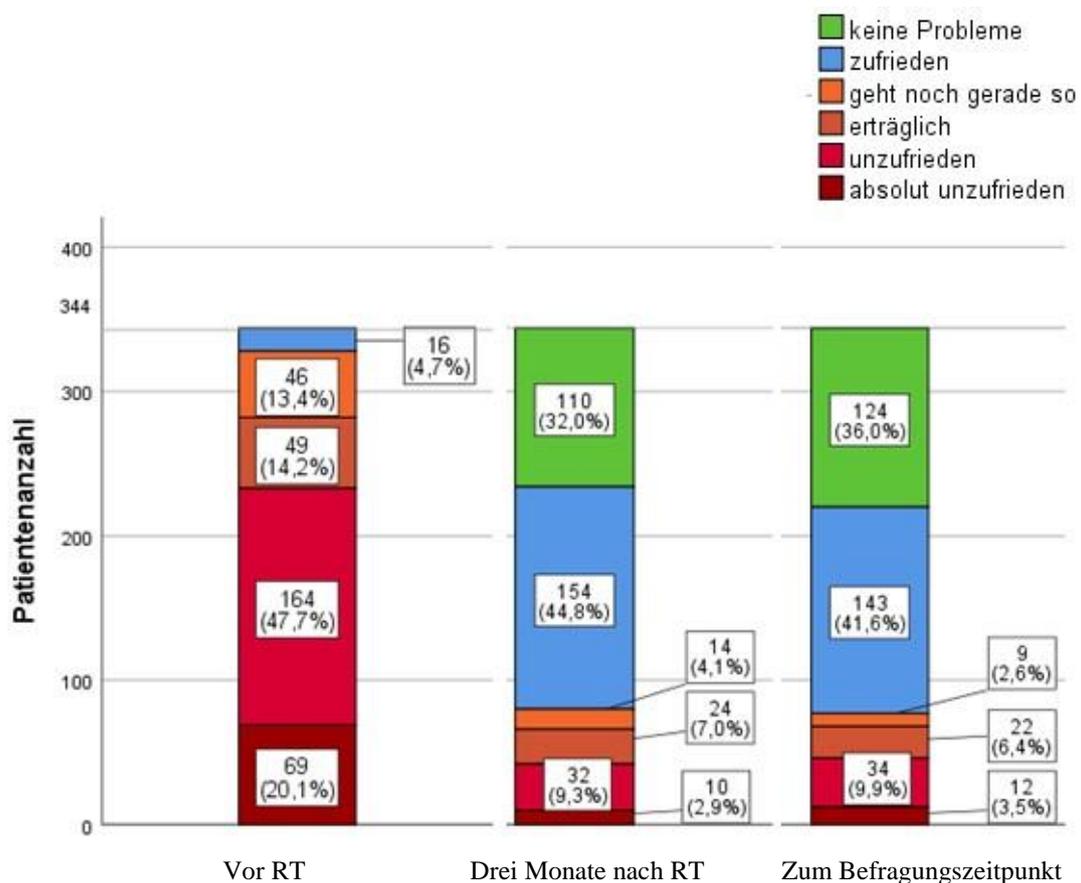


Abbildung 16: Lebensqualität vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt in der Subgruppe; n = 344

4.9.5 Auswirkung der Schmerzintensität mit der Gewichtung „stark“ auf die Lebensqualität

Vor der Strahlentherapie wurden die Patienten nach der Schmerzstärke der PF befragt. Die Schmerzstärke wurde in „mild“, „mäßig“, „stark“ und „unerträglich“ eingeteilt.

Ziel war das Aufzeigen der Auswirkungen der verschiedenen Schmerzintensitäten auf die Lebensqualität der Patienten sowie der Veränderung dieser nach der Strahlentherapie. Hierzu wurde mittels einer Kreuztabelle die Schmerzstärke der Lebensqualität vor der Strahlentherapie, drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und zum Befragungszeitpunkt gegenübergestellt (Tabelle 8).

Wie in der Tabelle 8 dargestellt, haben einige Patienten vor der Strahlentherapie keine Angaben bezüglich der Schmerzstärke oder der Lebensqualität gemacht. Drei Monate nach der Strahlentherapie und/oder zum Befragungszeitpunkt konnten diese Patienten jedoch ihre Lebensqualität bewerten. In diesen Fällen war der Vergleich mit dem Zustand vor der Strahlentherapie nicht möglich, da es möglicherweise zu einer Verzerrung der Statistik geführt hätte. Aufgrund dessen wurden Patienten, die keine Angaben gemacht haben oder keine Probleme vor der Strahlentherapie gehabt haben, aus der Auswertung ausgeschlossen.

Tabelle 8: Gegenüberstellung der Schmerzintensität und der Lebensqualität vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt mittels einer Kreuztabelle, bezogen auf die Gesamtgruppe

		Schmerzintensität						Gesamt	
		mild	mäßig	stark	unerträglich	keine Angaben			
		N	N	N	N	N	% von 402		
Lebensqualität vor der Strahlentherapie	keine Probleme		2	2		2	0,5%	6	1,5%
	zufrieden		5	9	1	2	0,5%	17	4,2%
	geht noch gerade so	2	13	27	1	3	0,7%	46	11,4%
	erträglich		17	28	1	3	0,7%	49	12,2%
	unzufrieden		20	127	13	9	2,2%	169	42,0%
	absolut unzufrieden		3	43	19	7	1,7%	72	17,9%
	keine Angaben		9	24	2	8	2,0%	43	10,7%
	Gesamt	2	69	260	37	34	8,5%	402	100,0%
Lebensqualität 3 Monate nach Abschluss der Strahlentherapie	keine Probleme	1	25	74	12	10	2,5%	122	30,3%
	zufrieden		23	113	12	11	2,7%	159	39,6%
	geht noch gerade so		5	7	3	1	0,2%	16	4,0%
	erträglich	1	3	15	4	1	0,2%	24	6,0%
	unzufrieden		6	24	3			33	8,2%
	absolut unzufrieden		1	7		4	1,0%	12	3,0%
	keine Angaben		6	20	3	7	1,7%	36	9,0%
	Gesamt	2	69	260	37	34	8,5%	402	100,0%

Lebensqualität zum Befragungszeitpunkt	keine Probleme	1	25	93	12	14	3,5%	145	36,1%
	zufrieden		22	108	19	13	3,2%	162	40,3%
	geht noch gerade so	1	4	6	1			12	3,0%
	erträglich		8	14	1	1	0,2%	24	6,0%
	unzufrieden		9	26	3			38	9,5%
	absolut unzufrieden		1	8	1	4	1,0%	14	3,5%
	keine Angaben			5		2	0,5%	7	1,7%
	Gesamt	2	69	260	37	34	8,5%	402	100,0%

Wie in der Tabelle 9 gezeigt, haben vor der Strahlentherapie von 402 Patienten 227 Patienten über starke Schmerzen geklagt. Von den 227 Patienten waren mehr als die Hälfte ($n = 123$) unzufrieden mit ihrer Lebensqualität. Wir haben anschließend das Patientenkollektiv mit der Schmerzintensität „stark“ gesondert betrachtet, um die Dynamik der Lebensqualität vor und nach der Strahlentherapie in der größten Schmerzgruppe abzubilden (Tabelle 9; Abbildung 17).

Es ließ sich zeigen, dass in der Gruppe mit der Schmerzintensität „stark“ eine signifikante Verbesserung der Lebensqualität sowohl drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie (Wilcoxon-Test: $p < 0,001$) als auch zum Befragungszeitpunkt (Wilcoxon-Test: $p < 0,001$) eintrat.

Tabelle 9: Gegenüberstellung der Schmerzstärke und der Lebensqualität vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt mittels einer Kreuztabelle, mit Fokus auf die Gruppe mit der Schmerzintensität „stark“.
 Patienten, die keine Angaben gemacht haben oder keine Probleme vor der RT gehabt haben, wurden tabellarisch nicht abgebildet; n =227

		Schmerzstärke					
		mild	mäßig	stark		unerträglich	Gesamt
				N	%		
Lebensqualität vor der Strahlentherapie	zufrieden		5	8	3,5%	1	14
	geht noch gerade so	2	13	27	11,9%	1	43
	erträglich		17	28	12,3%	1	46
	unzufrieden		20	123	54,2%	13	156
	absolut unzufrieden		3	41	18,1%	18	62
					100%		
	Gesamt (N)	2	58	227		34	321
Prozentanteil	0,6%	18,1%	70,7%		10,6%	100,0%	
Lebensqualität 3 Monate nach Abschluss der Strahlentherapie	keine Probleme	1	21	68	30,0%	12	102
	zufrieden		23	109	48,0%	12	144
	geht noch gerade so		5	5	2,2%	3	13
	erträglich	1	3	15	6,6%	4	23
	unzufrieden		6	23	10,1%	3	32
	absolut unzufrieden			7	3,1%		7
					100%		
Gesamt (N)	2	58	227		34	321	
Prozentanteil	0,6%	18,1%	70,7%		10,6%	100,0%	
Lebensqualität zum Befragungszeitpunkt	keine Probleme	1	19	83	36,6%	12	115
	zufrieden		20	96	42,3%	17	133
	geht noch gerade so	1	4	3	1,3%	1	9
	erträglich		7	13	5,7%	1	21
	unzufrieden		7	25	11,0%	2	34
	absolut unzufrieden		1	7	3,1%	1	9
					100%		
Gesamt (N)	2	58	227		34	321	
Prozentanteil	0,6%	18,1%	70,7%		10,6%	100,0%	

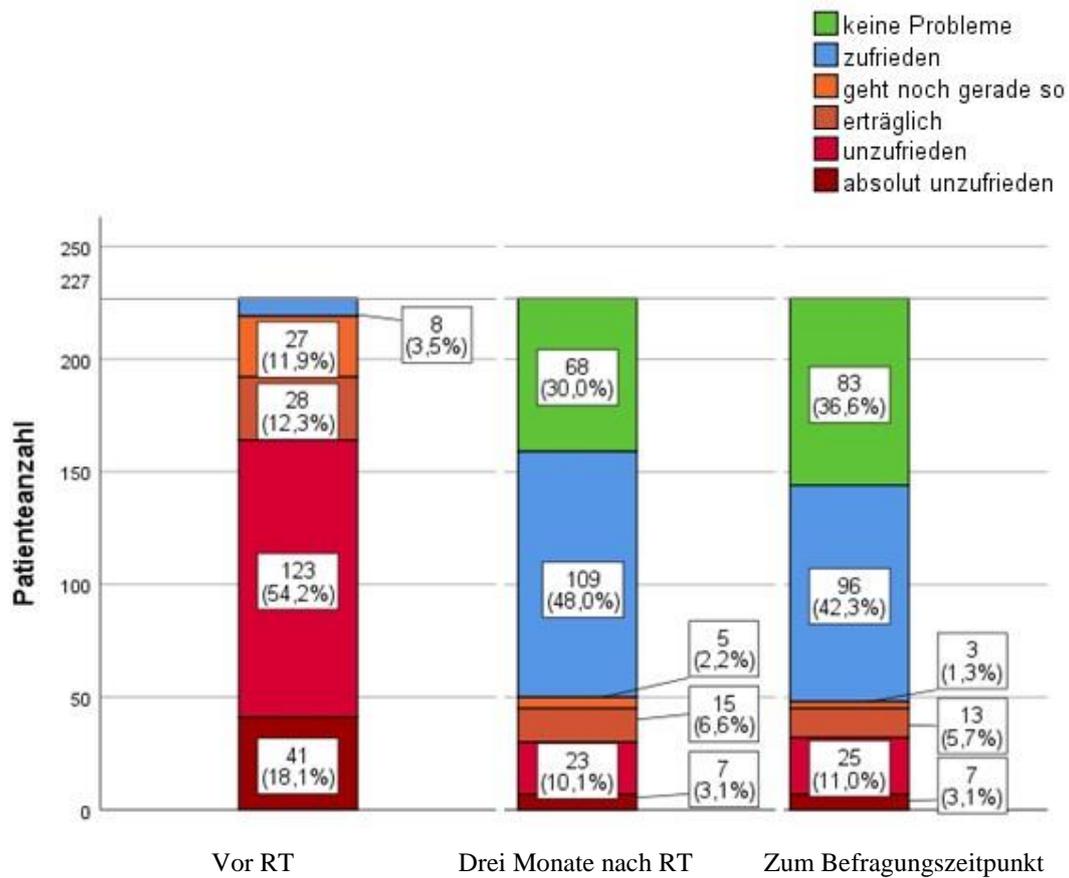


Abbildung 17: Lebensqualität vor der RT, drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt, in der Gruppe mit der Schmerzintensität „stark“. Patienten, die keine Angaben gemacht haben oder keine Probleme vor der Strahlentherapie gehabt haben, wurden nicht abgebildet, n = 227

4.10 Therapieergebnisse in Abhängigkeit vom Alter, Geschlecht und Lokalisation

Von 402 bestrahlten Patienten waren 284 Patienten (70,6%) weiblich und 118 Patienten (29,4%) männlich. Die Abbildung 18 zeigt die Geschlechtsverteilung in den jeweiligen Altersgruppen.

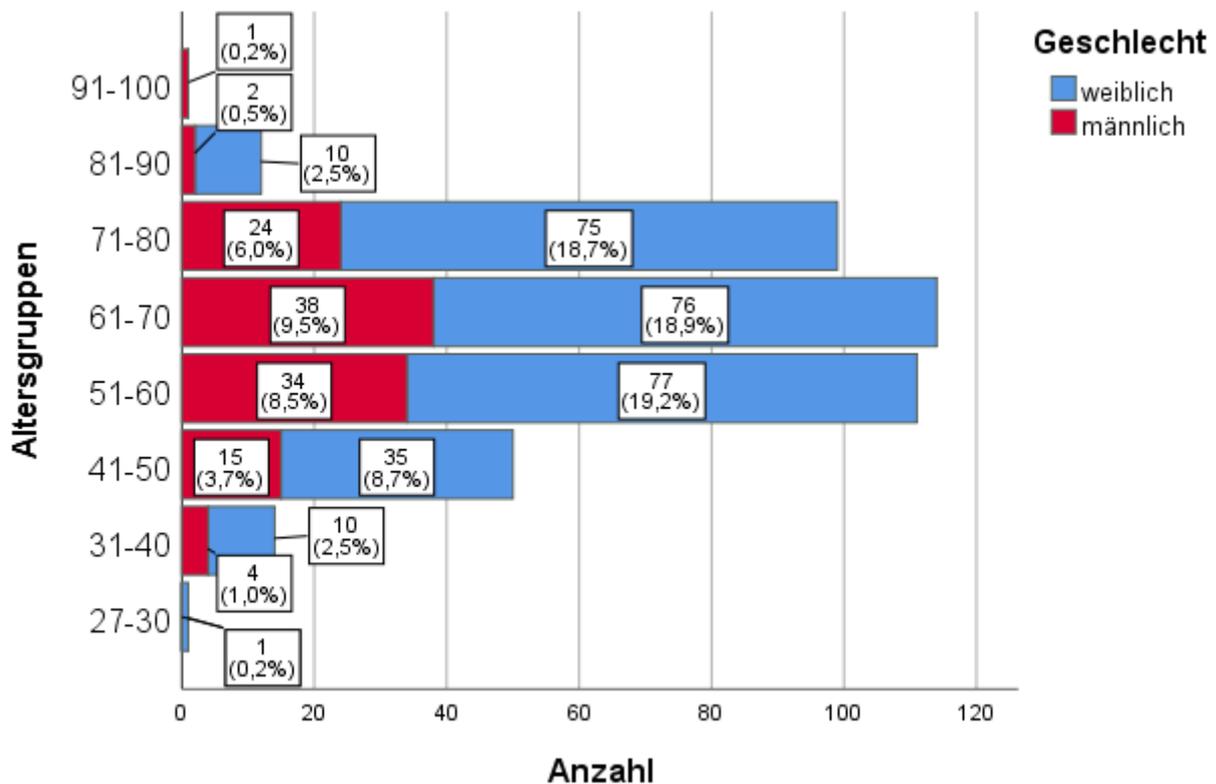


Abbildung 18: Geschlechtsverteilung in den jeweiligen Altersgruppen

4.10.1 Zusammenhang zwischen dem Alter und dem Strahlentherapieergebnis bezogen auf den Beruf, Alltag, Gang und die Lebensqualität

Um einen Zusammenhang zwischen dem Lebensalter und der schmerzbedingten Einschränkung nach der Strahlentherapie zu ermitteln, wurde eine Korrelation nach Spearman durchgeführt.

Es zeigte sich keine Signifikanz nach der Spearman-Korrelation zwischen dem Alter und dem strahlentherapeutischen Ergebnis hinsichtlich der schmerzbedingten Berufseinschränkung sowohl drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie als auch zum Befragungszeitpunkt (Tabelle 10).

Ebenso gab es keine Signifikanz nach der Spearman-Korrelation zwischen dem Alter und dem strahlentherapeutischen Ergebnis hinsichtlich der schmerzbedingten Gehstreckeneinschränkung, drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und zum Befragungszeitpunkt (Tabelle 10).

Es konnte ein schwacher negativer Zusammenhang zwischen dem Alter und der schmerzbedingten Einschränkung im Alltag nachgewiesen werden, der sich als signifikant herausstellte (Tabelle 10).

Das heißt, je älter die Patienten waren, desto besser waren die strahlentherapeutischen Ergebnisse bezogen auf die schmerzbedingte Alltagseinschränkung sowohl drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie als auch zum Befragungszeitpunkt (Tabelle 10). Drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie konnte ein schwacher positiver Zusammenhang zwischen dem Alter und der Lebensqualität nachgewiesen werden, der sich als signifikant herausstellte (Tabelle 10). Folglich war

die Lebensqualität drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie besser, je älter die Patienten waren. Zum Befragungszeitpunkt konnte jedoch keine Signifikanz zwischen dem Alter und der Lebensqualität mehr verzeichnet werden (Tabelle 10).

Tabelle 10: Zusammenhang zwischen dem Alter und der schmerzbedingten Einschränkung bezogen auf den Beruf, Alltag, Gang und die Lebensqualität drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt
 ** Die Korrelation ist auf dem 0,01Niveau signifikant (zweiseitig). * Die Korrelation ist auf dem 0,05Niveau signifikant (zweiseitig). n=Patientenanzahl, die therapiebezogenen Angaben gemacht haben

	Patientenanzahl (n)	Korrelationskoeffizient (ρ)	Asymptotische Signifikanz (2-seitig) p
Drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie (Beruf)	191	-0,094	0,196
Zum Befragungszeitpunkt (Beruf)	208	-0,055	0,432
Drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie (Alltag)	319	-0,121*	0,030
Zum Befragungszeitpunkt (Alltag)	349	-0,114*	0,034
Drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie (Gang)	323	-0,098	0,080
Zum Befragungszeitpunkt (Gang)	352	-0,004	0,942
Drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie (Lebensqualität)	366	0,162**	0,002
Zum Befragungszeitpunkt (Lebensqualität)	395	0,095	0,060

4.10.2 Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und dem Strahlentherapieergebnis bezogen auf den Beruf, Alltag, Gang und die Lebensqualität

Anhand des Mann-Whitney-U-Tests konnte man feststellen, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Geschlecht und dem strahlentherapeutischen Ergebnis bezogen auf die schmerzbedingte Einschränkung im Beruf, Alltag, Gang und der Lebensqualität gab (Tabelle 11).

Tabelle 11: Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der schmerzbedingten Einschränkung bezogen auf den Beruf, Alltag, Gang und die Lebensqualität drei Monate nach Abschluss der RT und zum Befragungszeitpunkt
 n=Patientenanzahl, die therapiebezogenen Angaben gemacht haben

	Patientenanzahl (n)	Z-Wert	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie (Beruf)	191	-0,452	0,651
Zum Befragungszeitpunkt (Beruf)	208	-0,616	0,538

Drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie (Alltag)	319	-0,185	0,853
Zum Befragungszeitpunkt (Alltag)	349	-0,618	0,536
Drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie (Gang)	323	-0,272	0,786
Zum Befragungszeitpunkt (Gang)	352	-1,123	0,262
Drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie (Lebensqualität)	366	-0,287	0,774
Zum Befragungszeitpunkt (Lebensqualität)	395	-0,541	0,588

4.10.3 Zusammenhang zwischen der Schmerzlokalisierung und dem Strahlentherapieergebnis bezogen auf die Lebensqualität

Der Mann-Whitney-U-Test wurde berechnet, um zu überprüfen, ob sich die Lebensqualität nach der Strahlentherapie in der Gruppe mit unilateralen Schmerzen von der Lebensqualität nach der Strahlentherapie in der Gruppe mit bilateralen Schmerzen unterscheiden würde. Hierzu wurde die Schmerzlokalisierung links und rechts der Gruppe der unilateralen Schmerzen zugeordnet und die Schmerzlokalisierung „beidseits: rechts > links“, „beidseits: links > rechts“ und „beidseits“ der Gruppe der bilateralen Schmerzen zugeordnet. Zudem wurden, wie bereits im Methodenteil beschrieben, die Gesamtgruppe und die Subgruppe analysiert.

Hinsichtlich der Gesamtgruppe ließ sich feststellen, dass sich sowohl drei Monate nach der Strahlentherapie ($n=366$, $Z = -3,340$, $p = 0,001$) als auch zum Befragungszeitpunkt ($n = 395$, $Z = -3,367$, $p = 0,001$) ein signifikanter Unterschied in der Lebensqualität zwischen den beiden Gruppen ergab. Hinsichtlich der Subgruppe ließ sich ebenfalls feststellen, dass sich sowohl drei Monate nach der Strahlentherapie ($n = 344$, $Z = -2,958$, $p = 0,03$) als auch zum Befragungszeitpunkt ($n = 344$, $Z = -2,254$, $p = 0,024$) ein statistisch signifikanter Unterschied in der Lebensqualität zwischen den beiden Gruppen ergab.

Bezogen auf die Subgruppe wird in der Abbildung 19 die Lebensqualität drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und in der Abbildung 20 zum Befragungszeitpunkt dargestellt.

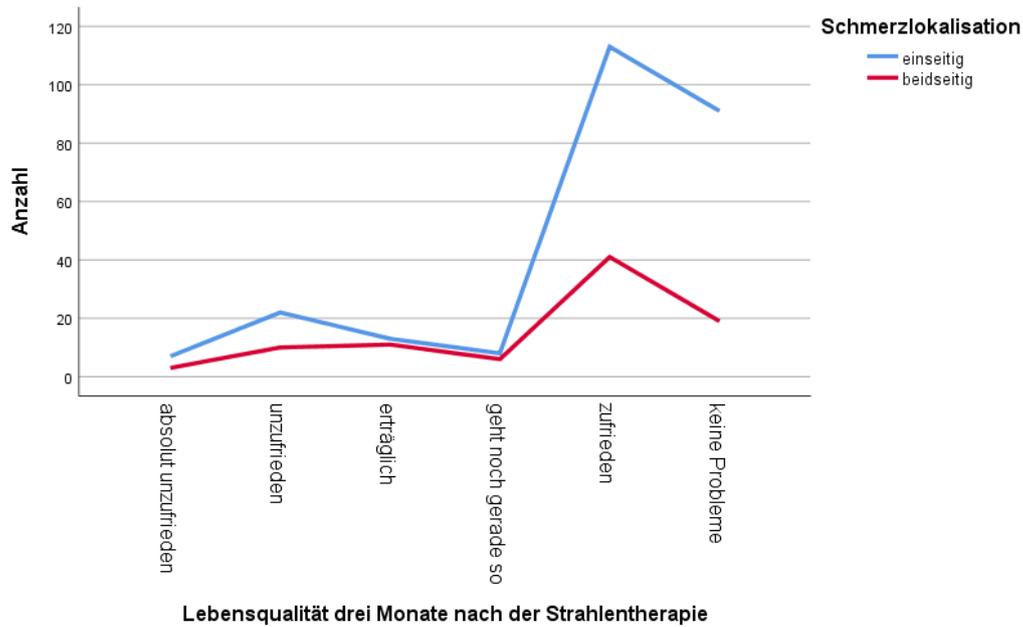


Abbildung 19: Lebensqualität drei Monate nach Abschluss der RT in der Subgruppe (n = 344). absolut unzufrieden (n = 7 einseitig, n = 3 beidseitig), unzufrieden (n = 22 einseitig, n = 10 beidseitig), erträglich (n = 13 einseitig, n = 11 beidseitig), geht noch gerade so (n = 8 einseitig, n = 6 beidseitig), zufrieden (n = 113 einseitig, n = 41 beidseitig), keine Probleme (n = 91 einseitig, n = 19 beidseitig)

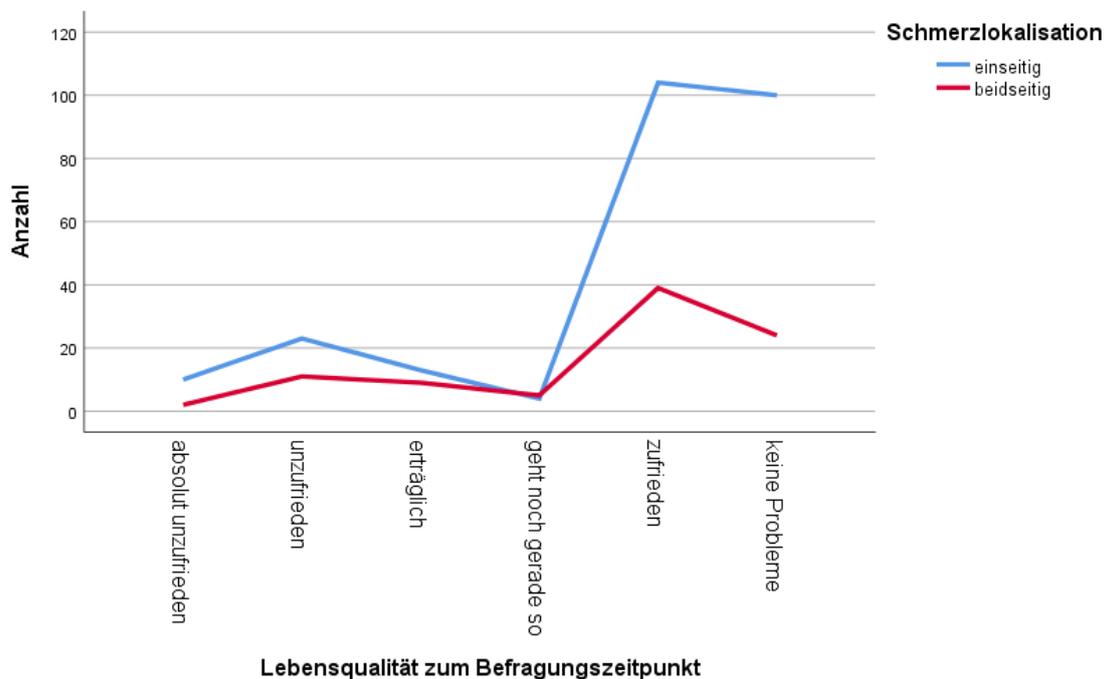


Abbildung 20: Lebensqualität zum Befragungszeitpunkt in der Subgruppe (n = 344). absolut unzufrieden (n = 10 einseitig, n = 2 beidseitig), unzufrieden (n = 23 einseitig, n = 11 beidseitig), erträglich (n = 13 einseitig, n = 9 beidseitig), geht noch gerade so (n = 4 einseitig, n = 5 beidseitig), zufrieden (n = 104 einseitig, n = 39 beidseitig), keine Probleme (n = 100 einseitig, n = 24 beidseitig)

4.10.4 Unterschiede in der Lebensqualität zwischen einer einseitigen und einer beidseitigen Bestrahlung bei bilateralen Schmerzen

Anhand des Mann-Whitney-U-Tests gab es in der Gesamtgruppe drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie keinen signifikanten Unterschied in der Lebensqualität zwischen einer einseitigen und einer beidseitigen Bestrahlung bei bilateralen Schmerzen ($n = 92$, $U = 1002$, $Z = -0,461$, $p = 0,645$). Auch zum Befragungszeitpunkt konnte kein signifikanter Unterschied in der Lebensqualität zwischen der einseitigen und beidseitigen Bestrahlung bei bilateralen Schmerzen verzeichnet werden ($n = 103$, $U = 1297$, $Z = -0,194$, $p = 0,846$).

In der Subgruppe zeigte sich ebenso sowohl drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie ($n = 90$, $U = 962$, $Z = -0,436$, $p = 0,663$) als auch zum Befragungszeitpunkt ($n = 90$, $U = 992$, $Z = -0,175$, $p = 0,861$) kein signifikanter Unterschied in der Lebensqualität zwischen der einseitigen und beidseitigen Bestrahlung bei bilateralen Schmerzen. Wie im Methodenteil erwähnt, zählten zur Subgruppe die Patienten, die kontinuierlich zu jedem der drei Befragungszeitpunkte Angaben bezüglich der Lebensqualität gemacht haben. Die Patienten, die vor der Strahlentherapie keine schmerzbedingte Einschränkung der Lebensqualität angaben, wurden in diese Subgruppe nicht eingeschlossen.

4.11 Zusammenhang zwischen der Lebensqualität und den Vorbehandlungen der PF

Von 402 Patienten haben sich 325 Patienten (80,8%) einer Vorbehandlung unterzogen, 45 Patienten (11,2%) haben keine Vorbehandlungen gehabt und 32 Patienten (8%) haben hierfür keine Angaben gemacht.

Um zu überprüfen, ob sich die Lebensqualität in der Gruppe mit Vorbehandlungen von der Gruppe ohne Vorbehandlungen unterschied, wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. In der Gesamtgruppe wurde sowohl drei Monate nach der Strahlentherapie ($n = 361$, $U = 5800$, $Z = -1,930$, $p = 0,054$) als auch zum Befragungszeitpunkt ($n = 364$, $U = 6403$, $Z = -1,250$, $p = 0,211$) kein signifikanter Unterschied in der Lebensqualität zwischen den beiden Gruppen festgestellt.

In der Subgruppe hat sich ebenfalls sowohl drei Monate nach der Strahlentherapie ($n = 343$, $U = 5116$, $Z = -1,713$, $p = 0,087$) als auch zum Befragungszeitpunkt ($n = 343$, $U = 5465$, $Z = -1,077$, $p = 0,282$) kein signifikanter Unterschied in der Lebensqualität zwischen den beiden Gruppen ergeben.

5. Diskussion

5.1 Kritische Betrachtung der eigenen Studie und Vergleich der eigenen Ergebnisse mit der Literatur

Die niedrigdosierte perkutane Strahlentherapie zählt in den mitteleuropäischen Ländern, vor allem in Deutschland, zu einer effektiven Therapieoption in der Behandlung entzündlicher und chronisch degenerativer Erkrankungen (16, 49-51). In Deutschland machen die degenerativen Erkrankungen circa 70 % der Strahlentherapieverordnungen aus und zählen damit zu den häufigsten Indikationsstellungen zur Strahlentherapie (16).

Jedoch wird der Zugang zur Strahlentherapie nicht jedem Patienten gewährt. Laut Empfehlung der fachgruppenspezifischen evidenzbasierten S2e-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Radioonkologie (DEGRO) sollten Patienten mit einer schmerzhaften PF unter 40 Jahren nicht regelhaft bestrahlt werden (42). Dies ließ sich in unserer Arbeit widerspiegeln. Der Altersmedian unserer Patienten betrug 63 Jahre, nur 10 Patienten (2,5%) waren jünger als 40 Jahre. Es muss außerdem betont werden, dass in einer alternden Gesellschaft und den immer mehr werdenden Nebenwirkungen von nicht-steroidalen Antirheumatika, die niedrigdosierte perkutane Strahlentherapie eine gute Therapieoption in der Behandlung der degenerativen und entzündlichen Erkrankungen darstellt.

Die Effektivität der Strahlentherapie bei der Behandlung der PF ist aktuell durch zahlreiche Studien belegt. Die Schmerzlinderung kann bereits kurz nach der Strahlentherapie erwartet werden (1, 5, 16, 21, 48-50, 52-62). Die Resultate ließen sich ebenso in unserer Arbeit bestätigen. Unsere Patienten-Subgruppen zeigten drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie eine signifikante Verbesserung der Lebensqualität ($p < 0,05$) und eine signifikante Verbesserung der schmerzbedingten Einschränkung im Beruf, Alltag und Gang ($p < 0,05$).

Viele Patienten mit PF unterziehen sich anfänglich konservativen Therapien wie beispielsweise nicht-steroidalen Antirheumatika, Schuheinlagen, Physiotherapie, Stoßwellentherapie und Ähnlichem (9, 24). Auch in unserer Arbeit haben sich vor der Strahlentherapie 325 Patienten (80,8%) einer oder mehreren konservativen Therapien unterzogen. Nach Abschluss der Strahlentherapie konnten wir keinen signifikanten Unterschied in der Lebensqualität zwischen der Gruppe mit einer zuvor erfolgten konservativen Therapie und der Gruppe ohne eine konservative Therapie feststellen ($p > 0,05$).

Festzuhalten ist, dass erst bei erfolgloser konservativer Therapie und einer langen Schmerzdauer die Patienten in die Strahlentherapie überwiesen werden (50). Dabei wird diskutiert, ob eine lange

Schmerzdauer prognostisch ungünstig sein kann und zu einem schlechten Therapieansprechen und einem schlechten Langzeitergebnis führen kann. Beispielsweise berichteten Schneider et al., dass Patienten mit einer Schmerzdauer von über 6 Monaten nur eine Schmerzreduktion von 57% zeigten. Im Gegensatz hierzu haben die Patienten mit einer Schmerzdauer von 3 bis 6 Monaten eine Schmerzreduktion von 84,4% gezeigt (53). Auch Mücke et al. stellten in ihrer Arbeit fest, dass für eine optimale Schmerzkontrolle die niedrigdosierte Strahlentherapie innerhalb der ersten 6 Monate erfolgen sollte (21). Dagegen berichteten Heyd et al., dass die Schmerzdauer keinen prognostischen Effekt auf die Therapieergebnisse hat (16).

Als Grund für die zweitrangige Wahl der niedrigdosierte Strahlentherapie bei Patienten mit entzündlichen und/oder chronisch degenerativen Erkrankungen kommen Befürchtungen und Angst vor Nebenwirkungen sowie einer Tumorinduktion in Betracht. Aus aktueller Sicht wurden jedoch keine akuten und/oder chronischen Strahlenschäden in Studien beobachtet (18, 21, 54).

Im Folgenden wird anhand von fünf relevanten Studien eine Übersicht zur Studienlage der niedrigdosierte Strahlentherapie als Behandlungsmethode der PF aufgezeigt und mit unseren Ergebnissen verglichen.

Marcus Niewald et al. haben in einer randomisierten multizentrischen Folgestudie den Effekt einer Standarddosis von 1,0 Gy hinsichtlich Schmerzen und Lebensqualität mit dem Effekt einer niedrigeren Einzeldosis von 0,5 Gy verglichen (58). Hierzu wurden insgesamt 117 Patienten, die an drei deutschen Universitätskliniken therapiert wurden, in die Studie eingeschlossen.

Die Einschlusskriterien der Studie waren die klinische Diagnose eines schmerzhaften Fersensporn, Alter > 40 Jahren, radiologischer Nachweis eines Fersensporn, Dauer der Symptome mehr als 6 Monate und ein Karnofsky-Index ≥ 70 %.

Die Patienten wurden, randomisiert durch Statistiker, entweder dem Standarddosisgruppearm (n = 59) oder dem experimentellen Dosisgruppearm (n = 58) zugeordnet. Die Standarddosisgruppe hat 1,0 Gy zweimal wöchentlich bis zu einer Gesamtdosis von 6 Gy erhalten. Die experimentelle Dosisgruppe hat 0,5 Gy dreimal wöchentlich bis zu einer Gesamtdosis von 6 Gy erhalten. Bei allen Patienten wurde ein Linearbeschleuniger mit 6 MV verwendet.

Die Auswertung erfolgte 12 Wochen und 48 Wochen nach Abschluss der Strahlentherapie mittels des Calcaneodynie-Scores, der visuellen Analogskala und des SF - 12 Fragebogens.

12 Wochen nach Abschluss der Strahlentherapie ließ sich in beiden Armen eine analgetische Wirkung der Strahlentherapie aufzeigen. Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden

Armen hinsichtlich der Schmerzlinderung und der Lebensqualität konnte nicht festgestellt werden (58).

Die Daten des 48-wöchigen Follow-up wurden von Prokein et al. veröffentlicht (56). Hierbei zeigten beide Arme ein gutes Ansprechen hinsichtlich der Schmerzlinderung und der Lebensqualität. Es fand sich auch 48 Wochen nach Abschluss der Strahlentherapie kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Armen hinsichtlich der Ergebnisse auf der visuellen Analogskala, dem Calcaneodynie-Score und dem SF-12-Fragebogen. Es ließ sich feststellen, dass Patienten mit einem ungenügenden Ansprechen auf die erste Bestrahlungsserie deutlich von einer zweiten Bestrahlungsserie profitierten (56).

Ähnlich der Studie von Marcus Niewald et al. wurden unsere Patienten hinsichtlich der Lebensqualität nach Abschluss der Strahlentherapie befragt. Im Gegensatz zu der prospektiven Studie von Marcus Niewald et al. handelte es sich in unserer Arbeit um eine retrospektive Versorgungsstudie. Des Weiteren wurde im Gegensatz zu den validierten Scores in der Studie von Marcus Niewald et al. ein eigenerstellter Fragebogen verwendet. Nichtsdestotrotz ließ sich ähnlich der Studie von Marcus Niewald et al. sowohl drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie als auch zum Befragungszeitpunkt (2-8 Jahre nach der Strahlentherapie) eine deutlich signifikante Verbesserung der Lebensqualität zeigen.

Ein weiterer Unterschied zu der Studie von Marcus Niewald et al. war das längere Follow-up (2-8 Jahre nach der Strahlentherapie) unserer Patienten sowie das größere Patientenkollektiv ($n = 402$). In unserer Arbeit konnte an einem großen Patientenkollektiv eine signifikante Verbesserung der Lebensqualität 2-8 Jahre nach Abschluss der Strahlentherapie gezeigt werden.

Die Studie von **Reinhard Heyd et al.** erfasste im Rahmen einer prospektiven Datenanalyse die Effektivität zweier unterschiedlicher Dosisregime für die Strahlentherapie von Patienten mit einem schmerzhaften Fersensporn (16).

Hierzu wurden zwischen April 2000 und Oktober 2003 130 Patienten in zwei Gruppen randomisiert. Die Niedrigdosisgruppe ($n = 65$), die in zweimal wöchentlicher Fraktionierung mit einer Einzeldosis von 0,5 Gy pro Woche bis zu einer Gesamtdosis von 3,0 Gy bestrahlt wurde. Die Hochdosisgruppe ($n = 65$), die in zweimal wöchentlicher Fraktionierung mit einer Einzeldosis von 1,0 Gy bis zu einer Gesamtdosis von 6 Gy bestrahlt wurde.

Die Einschlusskriterien der Studie waren Alter ≥ 30 Jahre, rezidivierende Symptome nach Versagen vorangegangener Behandlungsansätze bei Patienten im Alter von 30-45 Jahren, radiologischer

Nachweis eines Fersensporn, Druckempfindlichkeit an einer typischen Lokalisation und Funktionseinschränkung durch einen schmerzhaften Fersensporn.

Die Befunderhebung erfolgte anhand eines Funktionsscores nach Rowe et al. vor Bestrahlungsbeginn, am Ende jeder Serie, sechs Wochen und sechs Monate nach Abschluss der Strahlentherapie. Sechs Monate nach der Bestrahlung ließ sich in beiden Gruppen eine hochsignifikante Verbesserung des Funktionsscores feststellen.

In der Niedrigdosisgruppe berichteten 35 Patienten über ein exzellentes Ansprechen (Score 90-100), 8 Patienten über ein gutes Ansprechen (Score 70-85), 10 Patienten über ein zufriedenstellendes Ansprechen (Score 45-65) und 12 Patienten über ein schlechtes Ansprechen (Score 0-40). In der Hochdosisgruppe berichteten 31 Patienten über ein exzellentes Ansprechen, 13 Patienten über ein gutes Ansprechen, 12 Patienten über ein zufriedenstellendes Ansprechen und 9 Patienten über ein schlechtes Ansprechen.

Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ließ sich nicht feststellen. Daher schlussfolgerten die Autoren, dass eine Gesamtdosis von 3 Gy pro Serie für die Therapie eines schmerzhaften Fersensporns ausreichend ist.

Eine signifikante Korrelation zwischen der Symptombdauer und der Verbesserung des Summenscores gab es nicht. Auch das Geschlecht und das Alter hatten keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Verbesserung des Summenscores ergeben (16).

Zur Erfassung des Strahlentherapieeffekts bei der Behandlung der PF wurden unsere Patienten mittels eines eigenerstellten Selbsteinschätzungsscore befragt. Der Selbsteinschätzungsscore korrelierte dabei gut mit dem Funktionsscore nach Rowe et al., welcher in der Studie von Reinhard Heyd et al. angewandt wurde. Auch in unserer Arbeit konnte sowohl drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie als auch zum Befragungszeitpunkt eine signifikante Verbesserung der schmerzbedingten Einschränkung im Beruf, Alltag und Gang gezeigt werden ($p < 0,05$).

Im Gegensatz zu der Studie von Reinhard Heyd et al. konnten wir in unserer Arbeit sowohl drei Monate nach der Strahlentherapie als auch zum Befragungszeitpunkt einen signifikanten Einfluss des Alters auf die Verbesserung der schmerzbedingten Einschränkung im Alltag feststellen. Folglich profitierten gerade die älteren Patienten von einer Verbesserung der schmerzbedingten Einschränkung im Alltag infolge der Strahlentherapie.

Ebenso ließ sich eine Signifikanz zwischen dem Alter und der Lebensqualität drei Monate nach der Strahlentherapie nachweisen. Je älter die Patienten waren, desto besser war die Lebensqualität drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie. Zum Befragungszeitpunkt (2-8 Jahre nach der

Strahlentherapie) konnte keine Signifikanz zwischen dem Alter und der Lebensqualität verzeichnet werden. Ein Zusammenhang zwischen dem Alter und der Verbesserung der schmerzbedingten Einschränkung im Beruf und im Gangbild ließ sich sowohl drei Monate nach der Strahlentherapie als auch zum Befragungszeitpunkt nicht nachweisen.

Zwischen den Jahren 2009 und 2012 untersuchten **Bora Uysal et al.** in einer retrospektiven Studie 450 Patienten mit schmerzhaftem Fersensporn hinsichtlich der Effektivität der Strahlentherapie (1). Alle Patienten wurden mit einem Cobalt-60-Gerät bestrahlt und erhielten eine Gesamtdosis von 8 Gy in zwei Einzelfractionen. Das einzige Einschlusskriterium der Studie war das Vorliegen der Einverständniserklärungen vor der Strahlentherapie.

Zu den untersuchten Parametern zählten das Alter, das Geschlecht, die Lateralität des Fersenspornes, die Anzahl der Re-Bestrahlungen sowie die verbale numerische Skala (VNS) sechs Monate vor und sechs Monate nach der Strahlentherapie. Mittels der VNS sollten die Patienten ihren Schmerz vor und nach der Strahlentherapie bewerten. Wobei die Punktzahl 0 keinen Schmerz und die Punktzahl 10 einen unerträglichen Schmerz bedeuteten.

Das primäre Ziel war der Vergleich der Schmerzauswertung vor und nach der Strahlentherapie. Bei Patienten mit einem bilateralen Fersensporn wurden beide Fersen in den Bestrahlungsbereich eingeplant. Alle Patienten wurden über einen Zeitraum von mindestens einem Jahr nachbeobachtet.

292 Patienten (65%) waren Frauen und 158 Patienten (35%) waren Männer. Das durchschnittliche Alter betrug 52 Jahre. Bei 432 Patienten (96%) war der Fersensporn bilateral lokalisiert, bei 8 Patienten (1,8%) handelte es sich um einen linkseitigen und bei 10 Patienten (2,2%) um einen rechtsseitigen Fersensporn. Der mediane VNS-Score betrug vor der Strahlentherapie 8 Punkte (Bereich 4-10) und nach der Bestrahlung 1 Punkt (Bereich 0-3), sodass eine signifikante Schmerzlinderung nach Abschluss der Strahlentherapie verzeichnet werden konnte ($p < 0,05$) (1).

Ähnlich der Studie von Bora Uysal et al. wurden die Ergebnisse unserer Arbeit an einem großen Patientenkollektiv vor dem Hintergrund einer retrospektiven Studienlage interpretiert.

Eine große Fallzahl erlaubte die Anwendung des zentralen Grenzwertsatzes. Dieser besagt, dass man bei einer großen Fallzahl von einer Normalverteilung der Daten ausgehen kann. Zudem ermöglicht eine große Fallzahl eine genaue Aussage hinsichtlich des langfristigen strahlentherapeutischen Outcomes, da die „Lost-to-Follow-ups“ die Fallzahl nicht zu gering machen und die Ergebnisse dadurch hinsichtlich der Signifikanz/Nicht-Signifikanz interpretierbar sind.

Auch in unserer Arbeit zählten zu den untersuchten Parametern das Alter und das Geschlecht sowie die Lokalisation des Fersenspornes. Die Verteilung der demographischen Parameter wie des Geschlechtes und des Lebensalters war mit der Arbeit von Bora Uysal et al. vergleichbar. So haben sich in unserer Arbeit 284 Frauen (70,6%) und 118 Männer (29,4%) der Bestrahlung unterzogen. Das Altersmedian lag dabei bei 63 Jahren. Im Gegensatz zu der Arbeit von Bora Uysal et al. litt die Mehrzahl unserer Patienten an einer unilateralen PF (n = 299, 74,4%) und wurde somit einer unilateralen Bestrahlung unterzogen.

In Kontrast zu den Daten von Bora Uysal et al. lag der Endpunkt unserer Arbeit nicht in der Schmerzevaluation vor der Strahlentherapie und nach der Strahlentherapie, sondern in der Evaluation der Parameter, auf die der Schmerz einen erheblichen Einfluss nehmen konnte, beispielsweise auf die Berufsausübung, den Alltag, das Gangbild und die Lebensqualität. Wir konnten drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und zum Befragungszeitpunkt eine signifikante Verbesserung des Alltags, des Gangbildes und der Lebensqualität feststellen, nämlich der Parameter auf die der Schmerz einen unmittelbaren Einfluss nehmen kann.

In einer retrospektiven unizentrischen Studie untersuchten **Volker Rudat et al.** den Langzeiteffekt einer niedrigdosierten Strahlentherapie in der Behandlung eines schmerzhaften Fersenspornes (54). Hierfür wurden elektronische Patientenakten von Patienten, die zwischen Juli 2009 und Februar 2020 einer niedrigdosierten Strahlentherapie unterzogen wurden, ausgewertet. Patienten, die sich bereits zuvor einer niedrigdosierten Strahlentherapie unterzogen hatten, wurden aus der Studie ausgeschlossen.

Alle Patienten wurden an einem Linearbeschleuniger mit 6 MV bestrahlt. Die Gesamtdosis betrug 3,0 Gy und wurde fraktioniert dreimal wöchentlich mit einer Einzeldosis von 0,5 Gy appliziert. Die Patienten, die vor 2016 bestrahlt wurden, erhielten eine Gesamtdosis von 6,0 Gy, ebenso dreimal wöchentlich mit einer Einzeldosis von 1,0 Gy. Die Befunderhebung erfolgte am letzten Tag der Strahlentherapie, 3, 12, 24, 36 und >36 Monate nach Abschluss der Strahlentherapie. Hierbei wurde mittels einer visuellen Analogskala die Schmerzreduktion und mittels eines Fragebogens die passagere Schmerzverstärkung während und 3 Monate nach Abschluss der Strahlentherapie evaluiert. Beim Langzeit-follow-up wurden die Patienten telefonisch oder persönlich zu ihrer Schmerzentwicklung befragt. Insgesamt wurden 864 Fersen von 666 Patienten untersucht. Die Mehrzahl der Patienten erhielt vor der Überweisung in eine Strahlenklinik eine konservative Therapie. Dies spiegelte sich auch in der Schmerzdauer wider, die bei 253 Patienten über 6 Monate betrug. 190 Patienten gaben eine Schmerzdauer von weniger als 6 Monaten an.

Auffallend war, dass der Body-Mass-Index dieser Kohorte deutlich zu hoch war, 225 Patienten waren übergewichtig und 306 Patienten adipös.

Viele Patienten berichteten über eine passagere Episode von einer leichten bis starken Schmerzzunahme am Ende der Strahlentherapie sowie drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie.

Über eine vollkommene Schmerzfreiheit berichteten 5% der Patienten am letzten Tag der Strahlentherapie, 20% der Patienten drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie, 47% der Patienten 12 Monate nach Abschluss der Strahlentherapie, 49% der Patienten 24 Monate nach Abschluss der Strahlentherapie, 49% Patienten 36 Monate nach Abschluss der Strahlentherapie und 53% der Patienten >36 Monate nach der Strahlentherapie.

Nur 50% der Patienten, die über eine gute Schmerzreduktion 3 Monate nach Abschluss der Strahlentherapie berichtet haben, erlitten eine unzureichende Schmerzkontrolle während des Langzeitfollow-ups.

In einer univariaten Analyse stellte sich das Auftreten einer initialen Schmerzverstärkung während und/oder innerhalb von drei Monaten nach Abschluss der Strahlentherapie als prognostisch ungünstig dar ($p = 0,005$). Ebenfalls als prognostisch ungünstig wurde die Therapie eines beidseitigen Fersensporns beschrieben ($p = 0,008$). In einer multivariaten Analyse stellte sich nur die initiale Schmerzverstärkung als ein prognostisch ungünstiger Faktor dar (54).

Die Ergebnisse konnten in unserer Arbeit bestätigt werden. Der Großteil unserer Patienten ($n = 325$, 80,8%) unterzog sich einer konservativen Vorbehandlung vor der Strahlentherapie. Die Mehrzahl unserer Patienten war ebenso übergewichtig (44,1%) oder adipös (37,8%). Das könnte mit der Tatsache im Einklang stehen, dass ein steigender BMI ein Risikofaktor für die Entwicklung der PF darstellt. Im Langzeit-follow-up (2-8 Jahre nach der Strahlentherapie) konnten wir eine signifikante Verbesserung der Lebensqualität feststellen ($p < 0,05$). Ebenso ließ sich im Langzeitfollow-up eine signifikante Reduktion der schmerzbedingten Einschränkung im Beruf, Alltag und Gangbild nachweisen ($p = <0,05$). Zum Zeitpunkt der Befunderhebung haben über 45% der Patienten keine Einschränkungen im Beruf, Alltag und Gang gehabt.

In der Studie von Volker Rudat et al. ließ sich in der univariaten Analyse der beidseitige Fersensporn als ein prognostisch ungünstiger Faktor nachweisen. Auch wir konnten hinsichtlich der Gesamtgruppe sowohl drei Monate nach der Strahlentherapie als auch zum Befragungszeitpunkt einen signifikanten Unterschied in der Lebensqualität zwischen den Patienten mit einem einseitigen und einem beidseitigen Fersensporn feststellen ($p = 0,001$). Als prognostisch ungünstig stellte sich der beidseitige Fersensporn dar. Hinsichtlich der Subgruppe ließ sich ebenfalls ein statistisch sig-

nifikanter Unterschied drei Monate nach Abschluss der Strahlentherapie ($p = 0,03$) und zum Befragungszeitpunkt ($p = 0,024$) zwischen den beiden Gruppen nachweisen. Ein signifikanter Unterschied in der Lebensqualität nach der uni- oder bilateralen Bestrahlung des beidseitigen Fersenspornis konnte nicht nachgewiesen werden.

In einer weiteren retrospektiven Analyse untersuchten **Ralph Mücke et al.** den analgetischen Effekt einer niedrigdosierten Strahlentherapie bei 117 Patienten mit einem schmerzhaften Fersensporn, die zwischen den Jahren 1996 und 2000 am Klinikum Weiden, Deutschland, bestrahlt wurden (21). Hierbei handelte es sich um 71 Frauen und 46 Männer mit einem Altersmedian von 58 Jahren (Spannweite: 30 – 84 Jahren). Alle Patienten wurden an einem Linearbeschleuniger mit 6 MV bestrahlt. Die Bestrahlung erfolgte zweimal wöchentlich mit einer Einzeldosis von 0,5 Gy bis zur Gesamtdosis von 5,0 Gy. 104 Patienten haben eine Bestrahlungsserie erhalten, 13 Patienten wurden nach drei Monaten einer zweiten Bestrahlungsserie unterzogen.

Insgesamt wurden 136 Fersensporne therapiert: 43 links, 55 rechts, 19 beidseits. 112 Fersensporne waren plantar und 5 Fersensporne waren dorsal lokalisiert. 82 Patienten (70%) berichteten über vorher durchgeführte, konservative Therapien. Bei 35 Patienten (30%) wurde die Strahlentherapie als erste Maßnahme eingesetzt.

Die Befunderhebung erfolgte mittels Pannewitz-Score am Ende der Strahlentherapie sowie später mit einem medianen Follow-up von 20 Monaten.

Am Ende der Strahlentherapie waren von 117 Patienten, 27 Patienten (23,1%) schmerzfrei, 40 Patienten (34,2%) berichteten über eine wesentliche Schmerzbesserung, 31 Patienten (26,5%) gaben eine leichte Besserung an und 19 Patienten (16,2%) gaben keine Besserung an.

Nach einem medianen Follow-up von 20 Monaten waren von 100 untersuchten Patienten, 75 Patienten schmerzfrei, 12 Patienten berichteten über eine wesentliche Besserung, 3 Patienten gaben eine leichte Besserung an und 10 Patienten gaben keine Veränderung an. Als Ergebnis der Untersuchung stellten Ralph Mücke et al. fest, dass die Strahlentherapie mit 6 MV bei über 80 % der behandelten Patienten langfristig erfolgreich war.

Prognostisch ungünstig schien die Schmerzdauer von > 6 Monate zu sein. So wurde bei den Patienten mit einer Schmerzdauer ≤ 6 Monate ($n = 70$) eine bessere Schmerzkontrolle (94%) nach der Strahlentherapie erzielt (94%) als bei Patienten ($n = 30$) mit einer Schmerzdauer von > 6 Monate (Schmerzkontrolle 73%).

Daraus folgerten die Autoren, dass eine Strahlentherapie innerhalb der ersten 6 Monate erfolgen sollte, um eine optimale Schmerzkontrolle zu gewährleisten.

Ebenso wurde eine gute Schmerzkontrolle bei Patienten mit nur einer Bestrahlungsserie beobachtet, 93%. Bei Patienten mit zwei Bestrahlungsserien lag die Schmerzkontrolle bei 73%.

Akute oder chronische Nebenwirkungen wurden nicht beobachtet.

Wir unterzogen ebenso unsere Patienten im Falle des nicht ausreichenden Ansprechens auf die erste beziehungsweise zweite Bestrahlung einer Re-Bestrahlung. Eine Aussage zum schmerzlindernden Effekt der Re-Bestrahlung konnten wir jedoch nicht treffen, da wir die Patienten nicht explizit zur Schmerzlinderung nach Re-Bestrahlung befragten. Auch auf die Frage bezüglich der Schmerzdauer ($>/< 6$ Monate) als möglicher Prognosefaktor wurde in unserem Fragebogen nicht eingegangen und es kann somit keine Aussage darüber getroffen werden.

5.2. Limitationen

Die Ergebnisse unserer Arbeit müssen vor dem Hintergrund eines retrospektiven Studiendesigns interpretiert werden. Durch die retrospektive Ermittlung waren nicht alle relevanten Daten zu rekonstruieren. Beispielsweise konnten sich nicht alle Patienten genau an die Schmerzqualität/-quantität sowie Lebensqualität, Gangbild, Beruf und Alltag vor und nach der Strahlentherapie erinnern. Dies spiegelte sich darin wider, dass einige Patienten nur an einem der Zeitpunkte die Fragen beantwortet haben. Demnach sind auch Erinnerungsverzerrungen denkbar.

In der Pilotphase kamen viele Fragebögen unbeantwortet zurück. Der Grund hierfür ist unklar. Es ist jedoch zu vermuten, dass entweder die PF nicht weiter im Vordergrund stand oder die Fragestellung nicht verstanden wurde. Möglicherweise waren auch die unvollständig beantworteten Fragebögen der Schwäche der postalischen Einsendung der Fragebögen zuzurechnen. Es ist wahrscheinlich die Tendenz vieler Patienten beim Nichtverstehen/Missverstehen der Frage, diese nicht zu beantworten.

Als eine weitere Limitation dieser Arbeit kann das Patientenalter gewertet werden. Die Mehrzahl der Patienten war älter als 40 Jahre, somit sind die Ergebnisse nicht auf alle Altersgruppen übertragbar. Des Weiteren ist die steigende Komorbidität aufgrund des hohen Alters zu erwähnen, die in die Bewertung der Lebensqualität miteinflusst und so möglicherweise die Auswertung der Ergebnisse verzerrte.

Diese Arbeit konzentrierte sich zudem auf die Faktoren Lebensqualität, Gangbild, Beruf und Alltag nach der Strahlentherapie. In Hinblick auf die Auswirkung des Schmerzes auf die Lebensqualität konnten keine genaueren Aussagen getroffen werden. Es muss außerdem in Betracht gezogen werden, dass eine nicht berücksichtigte Störvariable das vermeintliche Ergebnis beeinflusst hat.

Schlussfolgerung

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich die niedrigdosierte Strahlentherapie als ein wirksames Mittel in der Behandlung der Plantarfasziitis zeigt.

Bei den Patienten, die von den konservativen Behandlungsansätzen in der Behandlung der therapieresistenten Plantarfasziitis nicht profitiert haben, gilt die niedrigdosierte Strahlentherapie als eine äquivalente Alternative und sollte allen Patientinnen und Patienten als eine Therapiemöglichkeit aufgezeigt werden.

Für ältere Patientinnen und Patienten könnte die Strahlentherapie als vorrangige Therapie angeboten werden. Zur ultimativen Positionierung dieser Methode würde eine prospektive randomisierte klinische Studie mit hoher Probandenzahl mehr Aufschluss geben.

Dennoch zeigen die Ergebnisse unserer Studie sowie anderer oben diskutierter Publikationen die Strahlentherapie als eine wirksame, sichere und risikoarme Therapiemethode, die mit geringem logistischem Aufwand für die Patientinnen und Patienten und die Behandler einhergeht sowie hinsichtlich der Kosten für das Gesundheitssystem ebenfalls eine kostengünstige Alternative darstellt.

Literaturverzeichnis

1. Uysal B, Beyzadeoglu M, Sager O, Demiral S, Gamsiz H, Dincoglan F, Akin M, Dirican B. Role of radiotherapy in the management of heel spur. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2015;25(2):387-9.
2. Agyekum EK, Ma K. Heel pain: A systematic review. *Chin J Traumatol.* 2015;18(3):164-9.
3. Ang TW. The effectiveness of corticosteroid injection in the treatment of plantar fasciitis. *Singapore Med J.* 2015;56(8):423-32.
4. Chen CM, Lee M, Lin CH, Chang CH, Lin CH. Comparative efficacy of corticosteroid injection and non-invasive treatments for plantar fasciitis: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep.* 2018;8(1):4033.
5. Niewald M, Seegenschmiedt MH, Micke O, Graeber S, Muecke R, Schaefer V, Scheid C, Fleckenstein J, Licht N, Ruebe C. 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.
6. Heyd R, Tselis N, Ackermann H, Roddiger SJ, Zamboglou N. [Functional outcome after megavoltage irradiation for heel spurs]. *Strahlenther Onkol.* 2006;182(12):733-9.
7. Gupta R, Malhotra A, Masih GD, Khanna T, Kaur H, Gupta P, Kashyap S. Comparing the Role of Different Treatment Modalities for Plantar Fasciitis: A Double Blind Randomized Controlled Trial. *Indian J Orthop.* 2020;54(1):31-7.
8. Holtmann H, Niewald M, Prokein B, Graeber S, Ruebe C. Randomized multicenter follow-up trial on the effect of radiotherapy for plantar fasciitis (painful heels spur) depending on dose and fractionation - a study protocol. *Radiat Oncol.* 2015;10:23.
9. Cutts S, Obi N, Pasapula C, Chan W. Plantar fasciitis. *Ann R Coll Surg Engl.* 2012;94(8):539-42.
10. Kirkpatrick J, Yassaie O, Mirjalili SA. The plantar calcaneal spur: a review of anatomy, histology, etiology and key associations. *J Anat.* 2017;230(6):743-51.
11. Monteagudo M, de Albornoz PM, Gutierrez B, Tabuenca J, Alvarez I. Plantar fasciopathy: A current concepts review. *EFORT Open Rev.* 2018;3(8):485-93.
12. Hicks JH. The mechanics of the foot. II. The plantar aponeurosis and the arch. *J Anat.* 1954;88(1):25-30.
13. Bolgla LA, Malone TR. Plantar fasciitis and the windlass mechanism: a biomechanical link to clinical practice. *J Athl Train.* 2004;39(1):77-82.

14. Sichtung F, Holowka NB, Ebrecht F, Lieberman DE. Evolutionary anatomy of the plantar aponeurosis in primates, including humans. *J Anat.* 2020;237(1):85-104.
15. Zhang J, Nie D, Rocha JL, Hogan MV, Wang JH. Characterization of the structure, cells, and cellular mechanobiological response of human plantar fascia. *J Tissue Eng.* 2018;9:2041731418801103.
16. Heyd R, Tselis N, Ackermann H, Roddiger SJ, Zamboglou N. Radiation therapy for painful heel spurs: results of a prospective randomized study. *Strahlenther Onkol.* 2007;183(1):3-9.
17. Zhang J, Nie D, Williamson K, McDowell A, Hogan MV, Wang JH. Moderate and intensive mechanical loading differentially modulate the phenotype of tendon stem/progenitor cells in vivo. *PLoS One.* 2020;15(12):e0242640.
18. Surenkok S, Dirican B, Beyzadeoglu M, Oysul K. Heel spur radiotherapy and radiation carcinogenesis risk estimation. *Radiat Med.* 2006;24(8):573-6.
19. Alatassi R, Alajlan A, Almalki T. Bizarre calcaneal spur: A case report. *Int J Surg Case Rep.* 2018;49:37-9.
20. Beytemur O, Oncu M. The age dependent change in the incidence of calcaneal spur. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2018;52(5):367-71.
21. Mucke R, Schonekaes K, Micke O, Seegenschmiedt MH, Berning D, Heyder R. Low-dose radiotherapy for painful heel spur. Retrospective study of 117 patients. *Strahlenther Onkol.* 2003;179(11):774-8.
22. Kumai T, Benjamin M. Heel spur formation and the subcalcaneal entheses of the plantar fascia. *J Rheumatol.* 2002;29(9):1957-64.
23. Priscilla Tu, Do, and Jeffrey R. Bytowski, Do. Diagnosis of Heel Pain. *American Family Physician.* 2011;Volume 84.
24. Goff JD, Crawford R. Diagnosis and treatment of plantar fasciitis. *Am Fam Physician.* 2011;84(6):676-82.
25. Petraglia F, Ramazzina I, Costantino C. Plantar fasciitis in athletes: diagnostic and treatment strategies. A systematic review. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2017;7(1):107-18.
26. McMillan AM, Landorf KB, Barrett JT, Menz HB, Bird AR. Diagnostic imaging for chronic plantar heel pain: a systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Res.* 2009;2:32.
27. Donley BG, Moore T, Sferra J, Gozdanovic J, Smith R. The efficacy of oral nonsteroidal anti-inflammatory medication (NSAID) in the treatment of plantar fasciitis: a randomized, prospective, placebo-controlled study. *Foot Ankle Int.* 2007;28(1):20-3.

28. Hyland MR, Webber-Gaffney A, Cohen L, Lichtman PT. Randomized controlled trial of calcaneal taping, sham taping, and plantar fascia stretching for the short-term management of plantar heel pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006;36(6):364-71.
29. DiGiovanni BF, Nawoczenski DA, Lintal ME, Moore EA, Murray JC, Wilding GE, Baumhauer JF. Tissue-specific plantar fascia-stretching exercise enhances outcomes in patients with chronic heel pain. A prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85(7):1270-7.
30. Digiovanni BF, Nawoczenski DA, Malay DP, Graci PA, Williams TT, Wilding GE, Baumhauer JF. Plantar fascia-specific stretching exercise improves outcomes in patients with chronic plantar fasciitis. A prospective clinical trial with two-year follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(8):1775-81.
31. Landorf KB, Keenan AM, Herbert RD. Effectiveness of foot orthoses to treat plantar fasciitis: a randomized trial. *Arch Intern Med.* 2006;166(12):1305-10.
32. Pfeffer G, Bacchetti P, Deland J, Lewis A, Anderson R, Davis W, Alvarez R, Brodsky J, Cooper P, Frey C, Herrick R, Myerson M, Sammarco J, Janecki C, Ross S, Bowman M, Smith R. Comparison of custom and prefabricated orthoses in the initial treatment of proximal plantar fasciitis. *Foot Ankle Int.* 1999;20(4):214-21.
33. Osborne HR, Allison GT. Treatment of plantar fasciitis by LowDye taping and iontophoresis: short term results of a double blinded, randomised, placebo controlled clinical trial of dexamethasone and acetic acid. *Br J Sports Med.* 2006;40(6):545-9; discussion 9.
34. Neufeld SK, Cerrato R. Plantar fasciitis: evaluation and treatment. *J Am Acad Orthop Surg.* 2008;16(6):338-46.
35. Whittaker GA, Munteanu SE, Menz HB, Bonanno DR, Gerrard JM, Landorf KB. Corticosteroid injection for plantar heel pain: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019;20(1):378.
36. Tsai WC, Hsu CC, Chen CP, Chen MJ, Yu TY, Chen YJ. Plantar fasciitis treated with local steroid injection: comparison between sonographic and palpation guidance. *J Clin Ultrasound.* 2006;34(1):12-6.
37. Placzek R, Deuretzbacher G, Meiss AL. Treatment of chronic plantar fasciitis with Botulinum toxin A: preliminary clinical results. *Clin J Pain.* 2006;22(2):190-2.
38. Hammer DS, Adam F, Kreutz A, Kohn D, Seil R. Extracorporeal shock wave therapy (ESWT) in patients with chronic proximal plantar fasciitis: a 2-year follow-up. *Foot Ankle Int.* 2003;24(11):823-8.

39. Li X, Zhang L, Gu S, Sun J, Qin Z, Yue J, Zhong Y, Ding N, Gao R. Comparative effectiveness of extracorporeal shock wave, ultrasound, low-level laser therapy, noninvasive interactive neurostimulation, and pulsed radiofrequency treatment for treating plantar fasciitis: A systematic review and network meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97(43):e12819.
40. Lai TW, Ma HL, Lee MS, Chen PM, Ku MC. Ultrasonography and clinical outcome comparison of extracorporeal shock wave therapy and corticosteroid injections for chronic plantar fasciitis: A randomized controlled trial. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2018;18(1):47-54.
41. Yuan YS, Qian Y, Lu H, Kou YH, Xu YB, Xu HL. Comparison of the therapeutic outcomes between open plantar fascia release and percutaneous radiofrequency ablation in the treatment of intractable plantar fasciitis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2020;15(1).
42. Leitlinien in der Strahlentherapie, Strahlentherapie gutartiger Erkrankungen, Fachgruppenspezifische evidenzbasierte S2e-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Radioonkologie (DEGRO), Version 2.0. vom 01.08.2018, (Abgerufen am 20.08.2021). https://www.franziskus.de/fileadmin/franziskus/media/fachartikel- und downloads/publikationen_micke/S2_Leitlinie_-_Strahlentherapie_gutartiger_Erkrankungen-update_2018.pdf.
43. Rodel F, Frey B, Gaipf U, Keilholz L, Fournier C, Manda K, Schollnberger H, Hildebrandt G, Rodel C. Modulation of inflammatory immune reactions by low-dose ionizing radiation: molecular mechanisms and clinical application. *Curr Med Chem*. 2012;19(12):1741-50.
44. Rodel F, Hofmann D, Auer J, Keilholz L, Rollinghoff M, Sauer R, Beuscher HU. The anti-inflammatory effect of low-dose radiation therapy involves a diminished CCL20 chemokine expression and granulocyte/endothelial cell adhesion. *Strahlenther Onkol*. 2008;184(1):41- 7.
45. Hildebrandt G, Loppnow G, Jahns J, Hindemith M, Anderegg U, Saalbach A, Kamprad F. Inhibition of the iNOS pathway in inflammatory macrophages by low-dose X-irradiation in vitro. Is there a time dependence? *Strahlenther Onkol*. 2003;179(3):158-66.
46. Hildebrandt G, Maggiorella L, Rodel F, Rodel V, Willis D, Trott KR. Mononuclear cell adhesion and cell adhesion molecule liberation after X-irradiation of activated endothelial cells in vitro. *Int J Radiat Biol*. 2002;78(4):315-25.
47. Hildebrandt G, Seed MP, Freemantle CN, Alam CA, Colville-Nash PR, Trott KR. Mechanisms of the anti-inflammatory activity of low-dose radiation therapy. *Int J Radiat Biol*. 1998;74(3):367-78.

48. Juniku N, Micke O, Seegenschmiedt MH, Muecke R. Radiotherapy for painful benign skeletal disorders : Results of a retrospective clinical quality assessment. *Strahlenther Onkol.* 2019;195(12):1068-73.
49. Seegenschmiedt MH, Katalinic A, Makoski H, Haase W, Gademann G, Hassenstein E. Radiation therapy for benign diseases: patterns of care study in Germany. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2000;47(1):195-202.
50. Koca T, Aydin A, Sezen D, Basaran H, Karaca S. Painful plantar heel spur treatment with Co-60 teletherapy: factors influencing treatment outcome. *Springerplus.* 2014;3:21.
51. Kriz J, Seegenschmiedt HM, Bartels A, Micke O, Muecke R, Schaefer U, Haverkamp U, Eich HT. Updated strategies in the treatment of benign diseases-a patterns of care study of the german cooperative group on benign diseases. *Adv Radiat Oncol.* 2018;3(3):240-4.
52. Schwarz F, Christie DR, Irving M. Are single fractions of radiotherapy suitable for plantar fasciitis? *Australas Radiol.* 2004;48(2):162-9.
53. Schneider O, Stuckle CA, Bosch E, Gott C, Adamietz IA. Effectiveness and prognostic factors of radiotherapy for painful plantar heel spurs. *Strahlenther Onkol.* 2004;180(8):502- 9.
54. Rudat V, Tontcheva N, Kutz G, Orovvighose TO, Gebhardt E. Long-term effect and prognostic factors of a low-dose radiotherapy of painful plantar calcaneal spurs : A retrospective unicenter study. *Strahlenther Onkol.* 2021.
55. Rogers S, Eberle B, Vogt DR, Meier E, Moser L, Gomez Ordonez S, Desborough S, Riesterer O, Takacs I, Hasler P, Bodis S. Prospective Evaluation of Changes in Pain Levels, Quality of Life and Functionality After Low Dose Radiotherapy for Epicondylitis, Plantar Fasciitis, and Finger Osteoarthritis. *Front Med (Lausanne).* 2020;7:195.
56. Prokein B, Holtmann H, Hautmann MG, Rosler HP, Graeber S, Dzierma Y, Ruebe C, Fleckenstein J, Niewald M. Radiotherapy of painful heel spur with two fractionation regimens : Results of a randomized multicenter trial after 48 weeks' follow-up. *Strahlenther Onkol.* 2017;193(6):483-90.
57. Niewald M, Seegenschmiedt MH, Micke O, Graber S, German Cooperative Group on the Radiotherapy for Benign Diseases of the DGSfRO. Randomized multicenter trial on the effect of radiotherapy for plantar Fasciitis (painful heel spur) using very low doses--a study protocol. *Radiat Oncol.* 2008;3:27.
58. Niewald M, Holtmann H, Prokein B, Hautmann MG, Rosler HP, Graeber S, Dzierma Y, Ruebe C, Fleckenstein J. Randomized multicenter follow-up trial on the effect of radiotherapy on painful heel spur (plantar fasciitis) comparing two fractionation schedules

- with uniform total dose: first results after three months' follow-up. *Radiat Oncol.* 2015;10:174.
59. Miszczyk L, Jochymek B, Wozniak G. Retrospective evaluation of radiotherapy in plantar fasciitis. *Br J Radiol.* 2007;80(958):829-34.
 60. Micke O, Ugrak E, Bartmann S, Adamietz IA, Schaefer U, Bueker R, Kisters K, Heinrich Seegenschmiedt M, Fakhrin K, Muecke R. Radiotherapy for calcaneodynia, achillodynia, painful gonarthrosis, bursitis trochanterica, and painful shoulder syndrome - Early and late results of a prospective clinical quality assessment. *Radiat Oncol.* 2018;13(1):71.
 61. Kedzierawski P, Stando R, Macek P. Retrospective evaluation of the effectiveness of radiotherapy in patients with plantar fasciitis (heel spurs). *Rep Pract Oncol Radiother.* 2017;22(3):209-11.
 62. Hautmann MG, Neumaier U, Kolbl O. Re-irradiation for painful heel spur syndrome. Retrospective analysis of 101 heels. *Strahlenther Onkol.* 2014;190(3):298-303.

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Elena Sipachova, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Das langfristige klinische Outcome der Strahlentherapie bei der Behandlung der Plantarfasziitis /the long-term clinical outcome of radiotherapy for benign plantar fasciitis“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum 29.09.2021

Unterschrift

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Danksagung

Ich danke Herrn Dr. med. H. Badakhshi für die freundliche Überlassung des Themas, die fortwährende ausgezeichnete Unterstützung und die Bereitschaft, mir bei den Problemen jederzeit zu helfen.

Weiterhin möchte ich auch Frau Manina Barabas danken, die mich in allen Sekretariatsangelegenheiten immer freundlich unterstützt hat.

Ein weiterer Dank für zahlreiche Anregungen und Hilfestellungen gilt meiner gesamten Familie und Freunden. Ganz besonders möchte ich meinen Eltern danken, dass die mir das Studium ermöglicht haben und in schwierigen Momenten für mich da waren.