

R. Bertagnoli, S. Nickl, H. Habbicht

## Die DynamicFX-Rumpforthese – eine neue dynamisch aktive Wirbelsäulenorthese

Entwicklung, Wirkungsweise, erste Ergebnisse

The DynamicFX Trunk Orthosis – a New Dynamic and Active Spine Brace. How it was developed, how it works. First results

In einer prospektiven Studie mit 60 Patienten wurden die Handhabbarkeit und die therapeutische Wirksamkeit der Bort DynamicFX-Rumpforthese untersucht. Die Orthese stellt ein anpassbares dynamisches System dar, bestehend aus einem Zugfedersystem in fünf verschiedenen Stärken, einer Basisplatte in vier unterschiedlichen Längen sowie einem suprasternalen Klettverschluss. Mit ihrem breiten variablen Regulierungssystem bietet sie die Möglichkeit einer individuellen Fein Anpassung an die Anatomie des Patienten. Ein Ziel der Studie war die Erfassung verschiedener Parameter in der Anwendung der Orthese durch 60 Patienten, um das Testmodell zu optimieren. Im Anschluss an diese Erprobungsphase wurden weitere 30 Patienten mit der neuen Orthese versorgt und in diese Untersuchung eingeschlossen. Im Folgenden werden die Studie und ihre Ergebnisse beschrieben.

In a prospective study with 60 patients the application and the therapeutical effectiveness of the DynamicFX Trunk Orthosis developed by Bort was examined. The orthosis represents an adaptable dynamic system, which consists of a system of tension springs in five different sizes, a basic plate in four different lengths and a suprasternal Velcro fastener. With its broad and variable regulating system it offers the possibility of a precise individual adaption to the patient's anatomy. The recording of different param-

eters during the application of the orthosis by 60 patients was one aim of the study meant to optimize the test model. After this test phase another 30 patients were fitted with the new brace and included in the study. The following article describes the study and its results.

### Einleitung

Rückenschmerzen, die in der überwiegenden Mehrzahl durch bandscheibenbedingte Erkrankungen verursacht werden, stellen heutzutage die Volkskrankheit Nummer 1 dar. In Industrienationen wird nahezu jeder Mensch irgendwann im Laufe des Lebens hiervon betroffen sein.

Schon heute verursachen Rückenschmerzen in Deutschland nach einer Studie der Helmholtz-Gemeinschaft und den Universitäten München und Greifswald dem Gesundheitswesen und der Volkswirtschaft pro Jahr fast 50 Mrd. Euro Kosten [11]. Mehr als die Hälfte davon sind indirekte Kosten, die durch Arbeitsunfähigkeit und Produktivitätsausfälle verursacht werden.

Am häufigsten treten Probleme im Bereich der Lendenwirbelsäule auf (> 60 Prozent). Dabei werden natürliche Verschleißerscheinungen durch Fehlbelastungen und -haltungen im Alltag vor allen Dingen in der Arbeitswelt verstärkt und beschleunigt [6].

Degenerative Wirbelsäulenerkrankungen können verschiedene

Ursachen haben. Betroffen sind primär zunächst diskoligamentäre Strukturen, wie die Bandscheiben oder die Wirbelgelenke, aber sekundär werden auch knöcherne Strukturen durch ossäre Spondylarthrosen verändert oder vergrößert. Dadurch kommt es häufig zu Einengungssyndromen neuraler Strukturen im Spinalkanal oder den Neuroforamina [1, 10].

Während sich die konservativen Therapieansätze in den letzten Jahren kaum veränderten, haben sich im Bereich der operativen Behandlungsmöglichkeiten mehrere neue Techniken in der Standardtherapie etablieren können.

Neben den klassischen Verfahren wie den Dekompressionseingriffen und den Fusionstechniken wurden in der letzten Dekade neue bewegungserhaltende Implantattechniken in den klinischen Alltag eingeführt.

Allen voran der künstliche Bandscheibenersatz, aber auch dorsale interspinöse oder auf Pedikelschrauben basierende bewegungserhaltende Systeme [3].

Durch diese neuen Techniken eröffnen sich auch Möglichkeiten, die operative Therapie deutlich individueller gestalten zu können und somit dem Patienten die jeweils für ihn optimale Therapie zukommen zu lassen. Viele Autoren vertreten in der Gesamtbehandlung degenerativer Wirbelsäulenerkrankungen das Konzept der kleinen Therapieschritte [2]. In diesem Stufenkonzept wird versucht, die Therapie graduell an

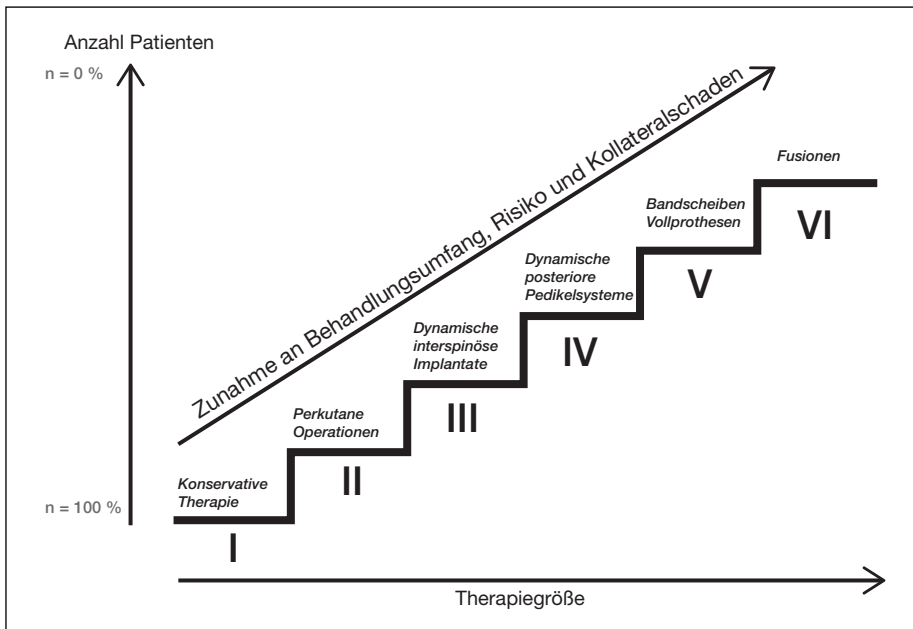


Abb. 1 Stufenalgorithmus der modernen Wirbelsäulenchirurgie.

den jeweiligen Degenerationszustand anzupassen. Nur die Therapieversager der jeweiligen Behandlungsstufe werden in das nächstgrößere Behandlungsschema gebracht.

Dadurch kann eine Übertherapie weitgehend vermieden und die Risiken und Kollateralschäden auf ein akzeptables Minimum reduziert werden (Abb. 1).

In der postoperativen Versorgung sind Rumpforthesen ein orthopädischer Schutz, der direkt am Körper des Patienten angepasst wird, wenn die dahinterliegenden Strukturen des Bewegungsapparates ruhiggestellt und/oder unterstützt beziehungsweise korrigiert werden müssen.

Im Gegensatz zu einer Prothese, die – einmal angepasst – ihre Form nicht ändert, ist das Konzept einer Orthese ein Zustand der Wandelbarkeit. Sie kann im Verlauf der Rehabilitation in Abhängigkeit von der Verschlechterung oder Verbesserung des klinischen Zustandes angepasst, verändert oder aufgegeben werden.

Es ist üblich geworden, eine Orthese nach ihrer Funktion einzuteilen, wie sie in der internationalen ISO 8551:2003 niedergelegt ist. Sie ist somit definiert als eine externe Vorrichtung, die aus einem oder mehreren Bauteilen besteht, Rumpf, Hals, Kopf, Extremitäten und deren Zwischengelenke ganz oder teilweise umfasst und die neuromuskulären und skelettalen Systeme beeinflusst [5].

## Dynamische passive Orthesen

Neben den früher meist verwendeten rigiden Rumpforthesen, die sich durch ein starres, undynamisches Grundkonzept auszeichnen, haben sich in den letzten Jahren elastische und dynamisierbare passive Orthesen etabliert. Diese werden zum Beispiel zur Schmerzbehandlung und mechanischen Unterstützung osteoporotischer Wirbelkörperbrüche oder zur muskulären Unterstützung lumbaler Schmerzsyndrome eingesetzt. Durch die Elastizität der Orthese wird eine ausgeprägte Inaktivität des Patienten vermieden. Da die Thoraxexkursion nur unwesentlich beeinträchtigt wird und kaum Druck auf schmerzempfindliche Knochenvorsprünge ausgeübt wird, ist die Trageakzeptanz im Vergleich zu völlig rigiden Systemen signifikant gesteigert [4]. Bei den meisten dieser elastischen oder dynamischen Orthesen kann jedoch nur eine ungenaue Adaptation auf die jeweiligen individuellen Erfordernisse erreicht werden. Eine Feinabstimmung auf die jeweiligen Patienten und deren Therapiebedürfnisse ist somit kaum möglich.

## Dynamische aktive Orthesen

Ein neues Konzept in der Orthesenversorgung sind dynamische aktive Orthesen, die neben der passi-

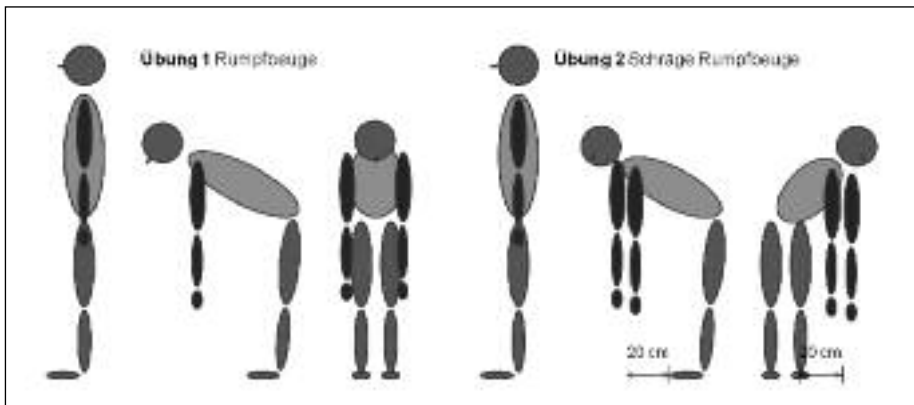
ven biomechanischen Abstützung auch einen aktiven Trainingseffekt, im Sinne eines Bio-Feedbacks, auf die Muskulatur haben. Über ein dynamisches Zugfedersystem wird eine progressive Rückstellungskraft auf den Körper übertragen. Der Patient arbeitet gegen eine zunehmende Krafteinwirkung, die neben der gewünschten sich steigierenden Limitierung des Bewegungsumfanges auch aktiv in diesen Bereichen die Muskulatur stimuliert. Durch diesen aktiven Effekt wird der üblicherweise bei der Orthesenbehandlung entstehenden Muskelatrophie entgegengewirkt.



Abb. 2 Prototyp Bort DynamicFX-Orthese. Die beiden Schultergurte sowie der zentral über der Wirbelsäule liegende Gurt werden über Federn vorgespannt.

Hauptziel der Studie war die Grundidee, aus der auf einem Bio-Feedback-Mechanismus basierenden Bort DynamicFX-Rückenorthese während einer Erprobungsphase eine Orthese zu entwickeln, die über eine optimale Passform und Tragekomfort verfügt und an die unterschiedlichen anatomischen Verhältnisse und Anforderungen anpassbar ist. Die Modulzahl der Orthesenteile sollte dabei möglichst gering und damit ökonomisch sinnvoll reduziert werden.

Ein weiteres wesentliches Ziel der Studie war, einen klinischen Algorithmus in Bezug auf Federstärken, Indikationen und Behandlungsdauer bei der konservativen und postoperativen Therapie von in Frage kommenden Wirbelsäulpatienten zu entwickeln.



**Abb. 3** Biomechanischer Versuchsaufbau mit zwei Testpositionen. Übung 1: gerade Rumpfbeuge. Übung 2: schräge Rumpfbeuge, bei der ein Gegenstand 20 cm vor und links seitlich der linken Fußspitze anvisiert wurde. Knie wurden bei beiden Übungen gestreckt gehalten [7].

## Material und Methoden

### Biomechanische Tests

In der initialen Entwicklungsphase der Bort DynamicFX-Rückenorthese wurden in einer biomechanischen Studie die maximal auftretenden aufrichtenden Kräfte ermittelt, die die Muskulatur unterstützen sollen [7].

Die Orthese besteht aus zwei einstellbaren Schultergurten, die mit einer Basisplatte am Rücken mit Zugfedern unterschiedlicher Steifigkeit verbunden sind (Abb. 2). Die Kraftmessung erfolgt über eine Druckmessfolie zwischen Körper und Orthese, die individuell an den Patienten angepasst wurde.

Sechs Probanden im Alter zwischen 42 und 78 Jahren (vier weibliche und zwei männliche) gingen hierbei in eine normale Rumpfbeuge und eine schräge Rumpfbeuge. Jeder Patient führte zwei Übungen durch (Abb. 3).

### Klinische Studie

Zwischen November 2008 und September 2010 wurden im Rahmen einer nicht randomisierten, prospektiven Studie in zwei zeitlich voneinander abgegrenzten Phasen Daten von 60 Patienten erhoben. Die Patienten befanden sich entweder zu einer konservativen oder operativen Therapie in Behandlung. In die Studie wurden Patienten mit degenerativen Bandscheibenerkrankungen der Grade 2 bis 5 nach Thompson et al. [10], Patienten mit Spondylolisthesen, Wirbelkanalstenosen, stabilen osteoporotischen Frakturen und Kyphosen bei M. Scheuermann eingeschlossen, die über behand-

lungsresistente Thorakolumbalgien oder Lumboischialgien von mehr als drei Monaten klagten. Die Schmerzintensitäten waren dabei sehr variabel (VAS global sechs bis zehn).

### Phase 1 (Pilotphase mit limitierter Prototypenzahl)

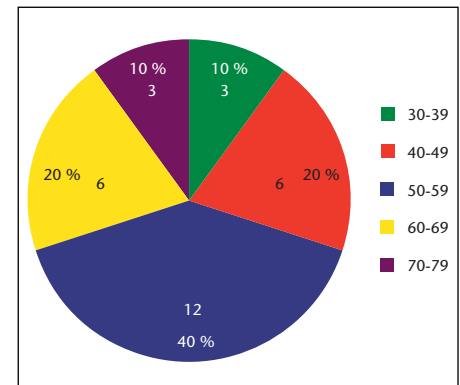
Die initial durchgeführte Pilotstudie diente vor allem dazu, die Orthese für den praktischen Einsatz zu evaluieren und deren Erkenntnisse in die Verbesserung der Orthese einfließen zu lassen, um die Voraussetzung für eine Serienproduktion zu schaffen.

Das Rohmodell stand nur in drei Größen zur Verfügung. Alle Orthesen, die in dieser Studie zum Einsatz gekommen sind, wurden individuell und indikationsbezogen ausgewählt und angepasst. Die Pilotstudie umfasste eine Kohorte von 30 konsekutiven Patienten, die zu einer konservativen Therapie stationär aufgenommen wurden.

Während dieser Pilotphase stand nur eine begrenzte Anzahl von Pro-

totypen der Orthese in begrenzten Größen zur Verfügung. Die Pilotstudie umfasste insgesamt 30 Teilnehmer: 18 männliche und zwölf weibliche Patienten im Alter von 33 bis 78 Jahren (Abb. 4).

Die Indikation zur Behandlung war bei 64 Prozent der Patienten eine degenerative Bandscheibenerkrankung, bei 20 Prozent der Patienten bestand eine Spondylolisthese und bei 17 Prozent der Patienten lag eine behandlungswürdige Stenose vor (Abb. 5).



**Abb. 4** Altersverteilung (33 bis 78 Jahre).

Das Körpergewicht der Patienten variierte zwischen 53 und 103 kg (Abb. 6). Daten über Handhabung und Alltagstauglichkeit, biomechanische Funktion und Wirkung der DynamicFX-Rückenorthese wurden anhand von Fragebögen durch Patient und Arzt erfasst. Die Therapieergebnisse wurden in der Pilotphase nach zehn Tagen erhoben. Die Tragedauer war unabhängig von der Indikation immer zehn Tage. Hier wurde von acht aus 30 Patienten Kritik am mangelnden Tragekomfort geübt, was in der verbesserten Version komplett ausgeräumt werden konnte.

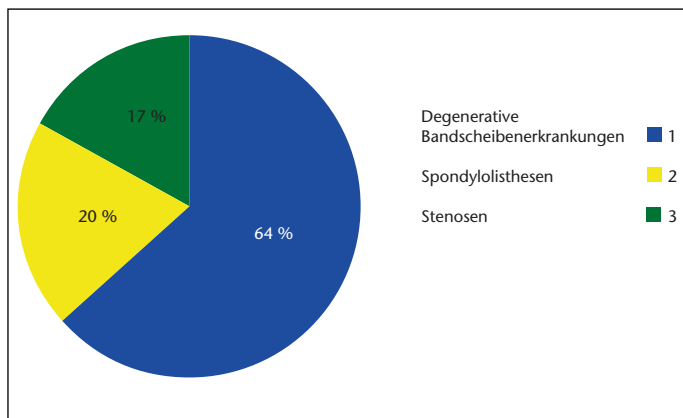


Abb. 5 Indikationen.

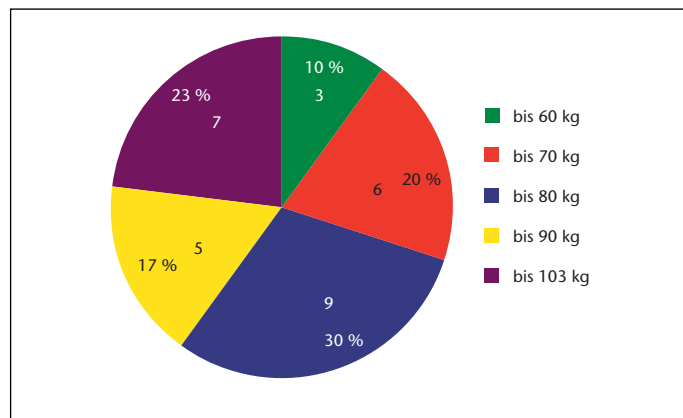


Abb. 6 Gewichtsverteilung (53 bis 103 kg).

## Phase 2 (Studie mit Serienprodukt)

Im Fall der postoperativen Rekonvaleszenz sollen, je nach Indikation, sechs Wochen primär Federstärken von 80 N bis 60 N verwendet werden, nach der Hälfte der Tragezeit von sechs Wochen sollen Federn von 50 N bis 30 N eingesetzt werden. In der konservativen Therapie werden Federstärken je nach Indikation eingesetzt, wie in Abbildung 7 dargestellt.

## Ergebnisse

### Biomechanik

Bereits in der aufrecht stehenden Neutralposition wird der Schultergürtel mit ca. drei N nach dorsal gehalten. Dieser Wert erhöht sich bei einer standardisierten Rumpfbeuge auf ca. 60 N (Abb. 3) und bei einer schräg links durchgeführten Rumpfbeuge allein an der rechten Schulter auf 40 N. Der gemessene Druck zwischen Schultergürtel und Schulter betrug direkt nach Anlegen der Orthese im aufrechten Stand ca. 46 mm Hg und stieg während der Übungen auf maximal ca. 100 mm Hg an. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Orthese unabhängig vom individuellen Bewegungs-

muster des Probanden ihre Wirkung voll entfaltet. Sie ist diesbezüglich positionsunabhängig wirksam [7].

## Klinische Studie

### Phase 1 (Pilotphase mit limitierten Prototypen)

Nach zehntägiger konservativer Therapie mit zusätzlicher Orthesen-Unterstützung konnte im klinischen Ergebnis bei 50 Prozent der Patienten eine deutliche Besserung der Beschwerdesymptomatik im Vergleich zum Status vor Beginn der Behandlung erreicht werden. 30 Prozent gaben eine Besserung an. Bei 20 Prozent der Patienten konnte nur eine geringe Verbesserung erreicht werden. Bei keinem der behandelten Patienten blieben die Schmerzen unbeeinflusst oder wurden schlechter als vor Therapiebeginn (Abb. 8).

Alle Orthesen, die im Zuge der Pilotphase zum Einsatz gekommen sind, wurden individuell und indikationsbezogen ausgewählt und angepasst. Während der gesamten Tragedauer wurden die Passform und der Tragekomfort regelmäßig überprüft. Es wurde sorgfältig darauf geachtet, dass alle Patienten

die Orthesen selbstständig an- und ablegen konnten. Die Wahl der verwendeten Rückenplatte bezüglich der Länge (Stabilisierungsniveau) war maßgeblich für die Bewegungseinschränkung in der Sagittalebene verantwortlich.

Die Orthese wurde von den Patienten während der Behandlung beurteilt hinsichtlich einer individuellen An- und Nachpassungsmöglichkeit (Lage der Schnappverschlüsse), des Tragekomforts an den Bandagenrändern (Einschnüren der Träger), des Tragekomforts insgesamt (Wärmestau), der Einstellmöglichkeit der Bandage, der Entlastung der LWS/BWS bei einer Federstärke von 60 N sowie der Bewegungseinschränkung beim Vor- und Zurückbeugen bei einer Federstärke von 30 N (Abb. 9).

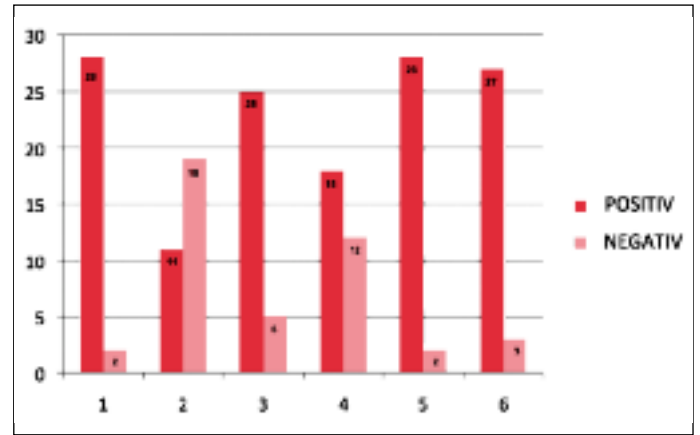
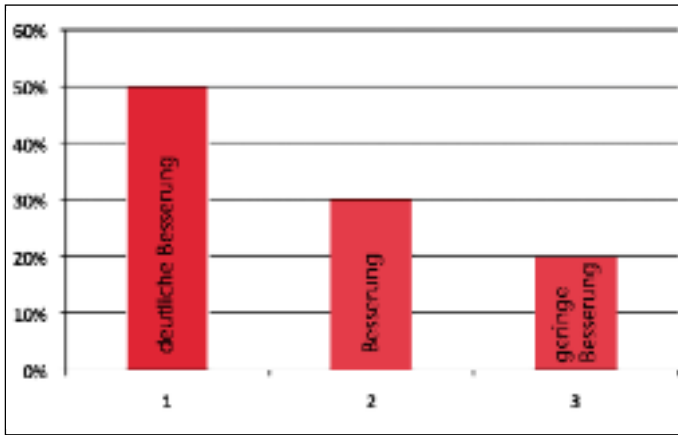
Mit 64 Prozent erhielt der Tragekomfort an den Bandagenrändern die größte Kritik in der Patientenbeurteilung. Dieses Problem konnte am Serienmodell durch die Einführung einer neuen Polsterung signifikant verbessert werden. Am zweithäufigsten wurde die Einstellmöglichkeit der Bandage kritisiert. Die Cross-Over-Bewegung zur Einstellung der Klickverschlüsse war für 40 Prozent der Patienten schmerzhaft. Durch einfaches Versetzen der Mechanismen konnte das Problem beim Serienmodell gänzlich behoben werden.

### Phase 2 (Studie mit Serienprodukt)

In der gegenwärtigen prospektiven Studienphase 2 wurde die Tragedauer von zehn Tagen auf sechs Wochen erhöht. Die Einschlusskriterien wurden neben der fortlaufenden konservativ behandelten Patientenkohorte auch auf frisch operierte Patienten, die mit einer Bandscheibenoperation,

30 N – 50 N	60 N – 80 N
Muskuläre Dysbalance	Akuter NPP
radikuläres Reizsyndrom	Deg. Bandscheibenerkrankung IV-V
beginnende Spinalstenose	Spinalstenose
Reizzustand des Iliosakralgelenkes	Spondylolisthesis
Z. n. M. Scheuermann mit Kyphose	Stabile, osteoporotische Wirbelkörperfraktur
Erkrankung I-III	M. Scheuermann

Abb. 7 Indikation nach Federstärken.



**Abb. 8** Klinische Ergebnisse bei der Entlassung im Vergleich zur Aufnahme. 50 Prozent deutliche Besserung, 30 Prozent Besserung, 20 Prozent geringe Besserung.

**Abb. 9** Beurteilung der Orthese durch die Patienten: 1) individuelle An- und Nachpassungsmöglichkeit (Lage der Schnappverschlüsse). 2) Tragekomfort an den Bandagenrändern (Einschnüren der Träger). 3) Tragekomfort insgesamt (Wärmestau). 4) Einstellmöglichkeit der Bandage. 5) Entlastung der LWS/BWS (Federstärke 60 N). 6) Bewegungseinschränkung beim Vor- und Zurückbeugen (Federstärke 30 N).

einem Bandscheibenersatz, dorsalen dynamischen Implantaten oder einer lumbalen Fusion versorgt wurden, erweitert.

Während die konservativ behandelten Patienten die Orthese nach Entlassung aus der stationären Behandlung nur mehr stundenweise, vor allem tagsüber, trugen, hatte die Gruppe der frisch operierten Patienten die Orthese über den gesamten Zeitraum permanent an. In beiden Gruppen betrug die Tragedauer, unabhängig von der Indikation, sechs Wochen. Bei den operierten Patienten wurde die Federstärke und damit auch die externe Entlastung sowie die passive Aufrichtungskraft nach drei Wochen von 60 bis 80 N auf 30 bis 50 N reduziert. Bei den konservativ behandelten Patienten, bei denen von Beginn an die Federstärken zwischen 30 bis 50 N eingestellt waren, erfolgte keine direkte Reduzierung der Federstärke.

## Vom Prototypen zum Serienprodukt

Die Erkenntnisse und Ergebnisse aus der Pilotstudie wurden zur Optimierung des Prototypenmodells und zur Entwicklung des Serienmodells verwendet (Abb. 10).

Eine Besonderheit der Bort DynamicFX-Rückenorthese ist die individuelle Auswahlmöglichkeit der einzelnen Komponenten. Die Basisbandage ist in sechs verschiedenen Größen erhältlich. Sie decken den Bereich von 60 bis 130 cm Leibumfang ab. Die dorsale, anatomisch

vorgeformte Basisplatte ist in vier individuellen Längen erhältlich und unterstützt die anatomisch korrekte Haltung der Lendenwirbelsäule. Die Anpassung des kalt verformbaren Rückenteils kann sogar ohne Werkzeug erfolgen. Die Intensität der Dynamik wird durch fünf austauschbare Zugfederelemente in unterschiedlicher Stärke (30 N, 40 N, 50 N, 60 N, 80 N) reguliert. Sie korrigieren die Fehlstatik und erlauben eine individuelle Anpassung an die jeweiligen Erfordernisse, wie die Indikation, das Körpergewicht oder die Größe. Außerdem wird eine individuelle Feinabstimmung der Kräfteinstellungen an die unterschiedlichen Erfordernisse ermöglicht, die sich durch die postoperativen Nachbehandlungen bei Verwendung unterschiedlicher Operationstechniken ergeben. Durch die individuell einstellbare Kompression des Bauchraumes kann zusätzlich eine die Lendenwirbelsäule ent-

lastende entlordosierende Wirkung erzielt werden.

## Diskussion

Die Indikation zur Therapie von Wirbelsäulenpatienten mit der dynamischen aktiven DynamicFX-Rückenorthese umfasst im Wesentlichen die gesamten Ausbildungsgrade der degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen sowie die postoperative Versorgung von lumbalen, nicht instrumentierten und instrumentierten Wirbelsäulenoperationen. Der beste Effekt kann dabei bei Patienten erreicht werden, die mit bewegungserhaltenden Implantaten operativ versorgt wurden, da bei diesen Eingriffen das aktive stabilisierende Subsystem, die Rumpfmuskulatur erhalten bleibt [8]. Die verwendete Orthese übt bereits im aufrechten Stand reclinierende Kräfte auf den Schultergürtel aus. Diese steigen bei



Abb. 10 Serienmodell der Bort DynamicFX-Orthese.

Rumpfbeugen auf Werte an, die unterhalb der maximalen Muskelkräfte, beispielsweise der Rumpfflexoren, liegen und damit die Muskelfunktion wie gewünscht nicht ersetzen, diese aber effektiv unterstützen können. Die maximale isometrische Kraft der Rumpfflexoren wird für gesunde Probanden mit 250 bis 370 N angegeben [8]. Die durch die Bort DynamicFX-Orthese verursachten Kraftwerte lagen mit bis zu 60 N deutlich unter diesen Maximalwerten, womit ca. 20 Prozent der durch Muskelkraft erzeugten Kräfte durch die Orthese übernommen werden können. Die Bewegungsmessung ergab, dass trotz individueller Unterschiede in der Art und Weise der Bewegungsausführung eine zunehmende Beugung des Rumpfes nach vorne oder schräg vorne mit einer zunehmenden aufrichtenden Kraft verbunden ist und damit universell seine gewünschte Wirkung entfaltet. Dadurch wird in optimaler Weise eine Stimulation der Muskulatur im Sinne eines Bio-Feedbacks erreicht und so ein Trainingseffekt trotz Orthesenbehandlung ermöglicht.

Insgesamt werden durch die dynamische Aufrichtung der Lendenwirbelsäule eine Schmerzlinderung, ein Muskelerhalt sowie eine Haltungsverbesserung erzielt, ohne auf den durch Aktivierung der Rumpfmuskulatur bewirkten Trainingseffekt zu verzichten.

Schlussfolgernd kann festgehalten werden, dass durch eine Therapie mit der DynamicFX-Rückenorthese eine Kräftigung der Rückenmuskulatur unterstützt werden

kann. Dies führt nicht nur zu einer Verbesserung der Körperhaltung im Sinne einer physiologischen Aufrichtung der Wirbelsäule, sondern sogar zu einem aktiv aufrichtenden Kräfteeinfluss, der den globalen Kyphosewinkel der Brustwirbelsäule reduziert. Als Nebeneffekt kommt es dadurch auch zu einer absoluten Körpergrößenzunahme. Durch diesen Rebalancierungsprozess kann eine Minderung des Sturzrisikos

erreicht werden, da die Wirbelsäule ihre Funktion als Achsorgan besser erfüllen kann. Dies insbesondere bei Patienten, die einer Kräftigungstherapie ohne Orthese ansonsten aktuell nicht zugänglich wären, zum Beispiel postoperativ oder wegen statisch muskulärer Schmerzen. Die Mobilisationsfähigkeit wird durch die aktiven Dynamisierungseigenschaften der neuen Orthese verbessert. Die aktive Korrektur des Körperschwerpunktes verhilft den Trägern der DynamicFX-Rückenorthese nicht nur zu einer Schmerzreduzierung, sondern auch funktionell zu mehr Sicherheit im Alltag. Aktivitäten, die das allgemeine Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit verbessern, können ausgeübt, Lebensqualität kann ohne große Einschränkungen zurückgewonnen werden.

#### Für die Autoren:

Prof. Dr. Rudolf Bertagnoli  
 ProSpine, First European Center for  
 Spine Arthroplasty and Associated  
 Nonfusion Technologies  
 Mussinanstr. 6  
 94327 Bogen

#### Literatur:

- [1] Atsushi, F. et al.: The Relationship between facet joint osteoarthritis and disc degeneration of the lumbar spine: an MRI study, *European Spine Journal* 8, 396-401
- [2] Bertagnoli, R.: Motion preservation – disc replacement for lumbar degenerative disorders with the ProDisc L prosthesis. In: Szpalski M. et al. (Hrsg): *Non fusion technologies in spine surgery*, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins (2007), 181-186
- [3] Bertagnoli, R. (Hrsg): *Bewegungserhaltende Wirbelsäulen Chirurgie*, München, 1. Auflage Urban & Fischer, 2010
- [4] Franke, J.: Elastische Rumpforthesen in der Behandlung der Osteoporose, *Orthopädie-Technik* 53 (2002), 720-729
- [5] Grage-Roßmann, B.: Rumpforthesen und ihre Funktionsprinzipien, *Orthopädie-Technik* 61 (2010), 573-579
- [6] Hofmann, F., U. Bolm-Audorff, H. Dupuis, U. Rehder: Berufsbedingte Wirbelsäulenerkrankungen – Biomechanik, Epidemiologie, Exposition, Klinik und Begutachtung, *Zbl. Arbeitsmed.* 52 (2002), 78-103
- [7] Kienle, A., R. Vogel, H.-J. Wilke: Aufrichtende Kraft der Bort DynamicFX Wirbelsäulenorthese, *SpineServ*, Ulm
- [8] Panjabi, M. M.: The Stabilizing System of the Spine. Part I. Function, Dysfunction, Adaptation, and Enhancement, *J. of Spinal Dis. & Techniques* 5 (1992), 383-389
- [9] Schmid, T., A. Mederer, P. Weishaupt, F. Möckel, T. Prochnow: Die wirbelsäulenstabilisierende Muskulatur bei Läufern, *Sportver Sportschad* 16 (2002), 59-63
- [10] Thompson, J. P., R. H. Pearce, M. T. Schechter et al.: Preliminary evaluation of a scheme for grading the gross morphology of the human intervertebral disc, *Spine* 15 (1990), 411-415
- [11] Wenig, C., C. Schmidt, T. Kohlmann, B. Schweikert: The costs of back pain in Germany, *European Journal of Pain* 13 (2009), 280-286