



**Universität Hamburg**  
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

**Empirische Überprüfung der Nachhaltigkeit von  
Krafttrainingseffekten bei Rehabilitationspatienten**  
—  
**Empirical testing of the sustainability of  
strength training effects in rehabilitation patients**

Kumulative Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
eines Doktors der Sportwissenschaften (Dr. sportwiss.)  
am Institut für Bewegungswissenschaft  
an der Fakultät für Psychologie und Bewegungswissenschaft  
der Universität Hamburg

vorgelegt von  
Dr. med. Aki Alexander Pietsch  
Hamburg, September 2023

Prüfungskommission:

Vorsitzender:

Prof. Dr. Erin Gerlach

1. Gutachter:

Prof. Dr. Rüdiger Reer

2. Gutachter:

Prof. Dr. Bettina Wollesen

Ort und Datum der Disputation:

Hamburg, 15.08.2024

# Inhaltsverzeichnis

<b>LISTE DER EINZELARBEITEN</b>	<b>I</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>II</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>IV</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>V</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>VI</b>
<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
1.1 THEORETISCHER HINTERGRUND	1
1.2 FORSCHUNGSDEFIZITE	4
1.3 EINORDNUNG UNTER SPORTWISSENSCHAFTLICHEN ASPEKTEN	5
1.3.1 <i>Interdisziplinarität der Sportwissenschaften</i>	5
1.3.2 <i>Einordnung der Erkenntnisgewinne der einzelnen Arbeiten in die Sportwissenschaft</i>	5
1.3.3 <i>Thematische Zuordnung der Arbeiten zu den entsprechenden sportwissenschaftlichen Teilgebieten</i>	6
<b>2. ALLGEMEINE UND SPEZIELLE ZIELE DIESER PROMOTION</b>	<b>8</b>
2.1 ALLGEMEINE ZIELE	8
2.2 FORSCHUNGSFRAGEN DIESER KUMULATIVEN DISSERTATION	8
<b>3. PUBLIKATIONEN</b>	<b>10</b>
3.1 METHODISCHE ÜBERSICHT	10
3.2 PUBLIKATION 1: ACUTE EFFECTS OF AN EXERCISE BASED MULTIMODAL IN-PATIENT REHABILITATION PROTOCOL IN MALE KNEE OSTEOARTHRITIS PATIENTS AND THE TWO YEARS FOLLOW-UP SUSTAINABILITY	12
3.2.1 <i>Einleitung</i>	12
3.2.2 <i>Assessments</i>	14
3.2.2.1 Isokinetische Kraftmessung	14
3.2.2.2 PWC (Physical Working Capacity)	15
3.2.2.3 WOMAC (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index)	15
3.2.2.4 EuroQol	15
3.2.2.5 PACT-Test (Performance Assessment and Capacity Testing)	16
3.2.3 <i>Ergebnisse</i>	16
3.2.4 <i>Darlegung des eigenen Anteils</i>	18
3.3 PUBLIKATION 2: REFERENZWERTE IN DER ISOMETRISCHEN KRAFTDIAGNOSTIK – MESSUNG VON RUMPFKRAFTWERTEN BEI PATIENTEN MIT RÜCKENSCHMERZEN	19
3.3.1 <i>Einleitung</i>	19
3.3.2 <i>Ergebnisse</i>	21
3.3.3 <i>Darlegung des eigenen Anteils</i>	23

3.4	PUBLIKATION 3: ACUTE EFFECTS OF A COMBINED STRENGTH AND ENDURANCE TRAINING REHABILITATION	
	PROTOCOL FOR PATIENTS IN DIFFERENT PROFESSIONS WITH BACK PAIN	24
3.4.1	<i>Einleitung</i>	24
3.4.2	<i>Assessments</i>	25
3.4.2.1	Isometrische Kraftmessung	25
3.4.2.2	PWC (Physical Working Capacity)	26
3.4.2.3	ODI (Oswestry Disability Index)	26
3.4.3	<i>Ergebnisse</i>	26
3.4.4	<i>Darlegung des eigenen Anteils</i>	27
<b>4.</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>29</b>
4.1	HAUPTERGEBNISSE	29
4.1.1	<i>Nachhaltigkeit</i>	29
4.1.2	<i>Referenzwerte bei Muskelkrafttests</i>	31
4.1.3	<i>Vergleich verschiedener Subgruppen</i>	33
4.2	LIMITATIONEN	35
4.3	AUSBLICK	37
<b>5.</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>39</b>
<b>6.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>42</b>
	<b>ANHANG</b>	<b>52</b>
	<b>ANHANG A: DANKSAGUNG</b>	<b>52</b>
	<b>ANHANG B: LEBENSLAUF</b>	<b>54</b>
	<b>ANHANG C: EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG</b>	<b>55</b>
	<b>ANHANG D: PUBLIKATION 1</b>	<b>56</b>
	<b>ANHANG E: PUBLIKATION 2</b>	<b>68</b>
	<b>ANHANG F: PUBLIKATION 3</b>	<b>78</b>



## Liste der Einzelarbeiten

Die vorliegende kummulative Dissertationsschrift basiert auf den aufgelisteten Publikationen in renommierten nationalen und internationalen, peer-reviewed Journals mit Impact Factor (IF).

### **Publikation 1**

Pietsch, A., Schroeder, J., Dalichau, S., Reer, R., Engel, D., Wahl-Wachendorf, A., Solbach, T., Edler, C., & Riepenhof, H. (2023). Acute effects of an exercise based multimodal in-patient rehabilitation protocol in male knee osteoarthritis patients and the two years follow-up sustainability. *WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*, 75(4), 1243-1253. <https://doi.org/10.3233/WOR-205264>  
(IF:2.3)

### **Publikation 2**

Pietsch, A., Schröder, J., Reer, R., Edler, C., Kutasow, A., & Riepenhof, H. (2021). Referenzwerte in der isometrischen Kraftdiagnostik. *Der Orthopäde*, 50(11), 946-954. <https://doi.org/10.1007/s00132-021-04091-y>  
(IF:1.004)

### **Publikation 3**

Pietsch, A., Schroeder, J., Reer, R., Edler, C., & Riepenhof, H. (2021). Acute Effects of a Combined Strength and Endurance Training Rehabilitation Protocol for Patients in Different Professions with Back Pain. *Physikalische Medizin - Rehabilitationsmedizin - Kurortmedizin*, 31(06), 386-392. <https://doi.org/10.1055/a-1520-5074>  
(IF: 0.903)

## Abkürzungsverzeichnis

ADL	Aktivitäten des täglichen Lebens
ANOVA	Analysis of variance
BMI	Body-Mass-Index
DGSP	Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention
DVGS	Deutschen Verband für Gesundheitssport und Sporttherapie e.V.
DVS	Deutsche Vereinigung für Sportwissenschaft
EQ-5D-3L	EuroQol
GOTS	Gesellschaft für Orthopädische-Traumatologische Sportmedizin
H/Q	Hamstring/Quadriceps
ICC	Intraklassen-Korrelationskoeffizient
M	Mittelwert
Max	Maximum
Min	Minimum
MTT	Medizinische Trainingstherapie
N	Absolute Kraft
N	Anzahl der Probanden
N/kg	auf das Körpergewicht relativierte Kraft
ODI	Oswestry Disability Index
PACT	Performance Assessment and Capacity Testing
PWC	Physical Working Capacity
SD	Standardabweichung
SEM	Standardfehler des Mittels

VAS

Visuelle Analog-Skala

WOMAC

Western Ontario and McMaster Universities

Osteoarthritis Index

## **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1. Messzeiten vor (T1) und nach (T2) einem Starterkurs, vor dem ersten (T3) und vor dem zweiten (T4) Auffrischkurs nach jeweils einem Jahr mit Einhaltung des Trainings (Fitnessstudio, Heimtraining, kein Sport) entsprechend der einzelnen Gruppen (Group 1-3)

## **Zusammenfassung**

Obwohl es eine gute Evidenz für die kurzfristigen Effekte des Krafttrainings bei Patienten mit chronischen Erkrankungen der Gelenke gibt, fehlen aktuell Erkenntnisse zur langfristigen Nachhaltigkeit und den Möglichkeiten, diese zu unterstützen und zu fördern. Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, verschiedene Aspekte zu überprüfen, die Möglichkeiten zur Verbesserung der Erzielung langfristiger Krafttrainingseffekte darstellen könnten. Hierfür wurden verschiedene Forschungsansätze genutzt. Zuerst wurden die langfristigen Krafttrainingseffekte in Bezug auf das Langzeit-Trainingsverhalten der Patienten überprüft. Dabei zeigte sich, dass Patienten, die während eines zweijährigen Beobachtungszeitraums mit einem überwachten systematischen Trainingsprotokoll in einem Fitnessstudio trainierten, signifikant bessere Ergebnisse erzielten als Patienten, die ein Heimtrainingsprogramm absolvierten oder gar nicht trainierten. In einer weiteren Arbeit wurden Referenzwerte für Rückenschmerzpatienten mit dem aktuellen Myoline®-Testsystem erhoben, um Daten für Vergleichswerte im Rehabilitationsverlauf der Patienten zu erhalten und somit den Fortschritt des Rehabilitationsprozesses zu überprüfen. Schließlich wurden die Kräfteffekte von Rückenschmerzpatienten verschiedener Berufsgruppen nach einem dreiwöchigen Muskelaufbautraining miteinander verglichen. Auch wenn nicht überprüft wurde, ob Einzelnen etwaige Nachteile entstanden sind, erscheint es aufgrund der aber aufgezeigten Wirksamkeit der Standardrehabilitationsprogramme doch gerechtfertigt, Ausbildungsgruppen für gemischte Berufe zu fördern. Dies würde zu einer Vereinfachung des Zugangs zu rüchenschmerzbezogenen Krafttrainingsprogrammen führen, da weniger unterschiedlich ausgerichtete Programme notwendig wären und die entsprechenden Gruppengrößen leichter erreicht werden könnten.

## Summary

Although there is good evidence for the short-term effects of strength training in patients with chronic joint diseases, there is currently a lack of knowledge about long-term sustainability and the possibilities to support and promote it. The aim of the present work was therefore to examine various aspects that could represent opportunities for improving the achievement of long-term strength training effects. Various research approaches were used for this purpose. First, the long-term strength training effects were examined in relation to the long-term training behavior of the patients. It was found that patients who trained with a monitored systematic training protocol in a gym during a two-year observation period achieved significantly better results than patients who completed a home training program or did not train at all. In another study, reference values for back pain patients were collected using the current Myo-line® test system in order to obtain reference data in the course of the patient's rehabilitation and thus to check the progress of the rehabilitation process. Finally, the strength effects of back pain patients from different occupational groups were compared after a 3-week muscle building training program. Even if it was not checked whether any disadvantages arose for individuals, it seems justified to promote training groups for mixed occupations due to the demonstrated effectiveness of the standard rehabilitation programs. This would simplify access to back pain-related strength training programs, since fewer differently oriented programs would be necessary and the appropriate group sizes could be achieved more easily.

## **1. Einleitung**

### **1.1 Theoretischer Hintergrund**

Zusammenhänge zwischen Rückenbeschwerden und Defiziten in der Rumpfstabilität (Morgan, 1957), aber auch die Wirkung von Krafttraining auf das Schmerzerleben (Flint, 1958) sind schon seit den 1950er Jahren bekannt und publiziert. Darüber hinaus gilt mangelnde Fitness und die Schwäche der Muskulatur schon seit Ende der 1970er Jahre als Risikofaktor für die Inzidenz von Gelenkbeschwerden in exponierten Berufsgruppen (Cady et al., 1979), wie z. B. Feuerwehrleuten (Cady et al., 1985). Schon 1980 gab es gegenüberstellende Rumpfmuskelkraftprofile zwischen Rückenschmerzpatienten und rückengesunden Vergleichspersonen (Mayer et al., 1985; McNeill et al., 1980). Krafttests und korrespondierende Rumpfmuskelkraftprofile sind seither Bestandteil von Rehabilitationskonzepten und können die Basis einer individualisierten Trainings-/Rekonditionierungstherapie sein, wie es von Denner in den 1990er Jahren in Deutschland vorgestellt wurde (Denner, 1997).

Betrachtet man die muskulo-skelettalen Pathologien im Rahmen der arthrotischen Gelenkveränderungen, so sind diese grundsätzlich durch eine multifaktorielle Pathogenese gekennzeichnet, wobei anatomische Normvarianten, traumatische Schäden, mechanische Überlastung und Fettleibigkeit im Zusammenhang mit Stoffwechselstörungen, genetischer Disposition, Geschlecht und Alter eine entscheidende Rolle spielen (Diehl et al., 2013). Muskelstörungen und damit schmerzhafte Verspannungen, Überdehnung und Verkürzung von Muskeln und Sehnen werden als eine der Hauptursachen für Gelenkschmerzen beschrieben (Gomes-Neto et al., 2017; Hodges, 2019; Hug, 2017).

Ungleichgewichte und Dysbalancen der Muskulatur werden hauptsächlich durch einseitige Belastungen und unphysiologische Haltungsmuster sowie durch sitzende Lebensstile und Fettleibigkeit verursacht (Janda, 2007; Jung, 2020), weswegen körperliche Aktivität und Gewichtsreduktion auch zu einer Verbesserung der Schmerzsituation führen können (Alzahrani et al., 2019; Dunlevy et al., 2019; Vanti et al., 2019). Weitere Ursachen muskulo-skelettaler Pathologien verschiedener Körperregionen zeigen sich in den unterschiedlichen beruflichen Belastungen der Patienten. So sind beispielsweise Bodenleger für die Entwicklung einer Gonarthrose und Krankenschwestern sowie Krankenpfleger für die Entstehung von bandscheibenbedingten Erkrankungen der Lendenwirbelsäule prädestiniert. Bauarbeiter klagen überproportional häufig über Knie-, Hüft- und Rückenbeschwerden (Behl-Schön et al., 2013; Liebers et al., 2013; Pietsch et al., 2020; Rytter et al., 2007).

Neben dem heute anerkannten Goldstandard des Aufbaus der gelenkstabilisierenden Muskulatur mit Krafttrainingsgeräten (Berry et al., 2019; Owen et al., 2019; Verbrugge et al., 2019) ist in den letzten Jahren mit dem Wunsch des Erreichens einer möglichst langen Nachhaltigkeit der Ergebnisse eine Erweiterung der gewünschten Zielvorstellungen erfolgt. Durch die Implementierung neuer multimodaler Therapieprogramme kommen neben der muskulären Gelenkstabilisierung weitere, ganzheitlich angelegte Therapieansätze zum Tragen (Foster et al., 2018), unter anderem psychologisches Gesundheitstraining und Ernährungsberatung (Behl-Schön et al., 2013).



Andere innovative Therapiekonzepte, wie die verschiedenen Faszientherapieformen (Nakamura et al., 2021), die Rolf-Methode der strukturellen Integration (Brandl et al., 2022) oder das Myofascial-Release-Verfahren (Ajimsha et al., 2022), konnten in aktuellen Arbeiten beim akuten unteren Rückenschmerz positiv bewertet werden. In den klinischen stationären Rehabilitationsmaßnahmen bei chronischem unteren Rückenschmerz werden sie aber bisher nur ergänzend eingesetzt; hier liegt der Fokus weiter im Aufbau der gelenkstabilisierenden Muskulatur mit Krafttrainingsgeräten.

In Ergänzung zu den vermehrten Ansatzpunkten der multimodalen Therapieprogramme wird mit verschiedenen Nachhaltigkeitsstrategien versucht, die Therapieerfolge der Erstmaßnahmen möglichst lange zu erhalten, um Rückfälle und Verschlimmerungen zu vermeiden (Behl-Schön et al., 2013; Benell et al., 2017; Pietsch et al., 2020). Hierbei spielt das gerätegestützte Krafttraining unter anderem deshalb eine übergeordnete Rolle, da durch wiederholende Krafttests Bewertungen erreicht und im Verlauf verglichen werden können (Denner, 1997; Lohss et al., 2017; Müller, 1996; Schröder et al., 2014), die direkt mit den Beschwerde- und Lebensqualitätsangaben der Patienten korrelieren. Eine weitere Problematik betrifft – bis auf wenige Ausnahmen – das Fehlen individueller, auf die beruflichen Anforderungen der Patienten zugeschnittener Rehabilitationsprogramme. Hier sind Lösungen notwendig, die zum einen den vielfältigen Tätigkeitsprofilen der Patienten Rechnung tragen und zum anderen den Zugang zu speziellen Programmen erleichtern.

## 1.2 Forschungsdefizite

Bei Betrachtung des Forschungsstandes zeigt sich eine belastbare Evidenz für kurz- und mittelfristige Effekte durch Muskelaufbautraining an Krafttrainingsgeräten. Bei langfristigen Effekten über 12 Monate hinaus finden sich deutlich weniger Studien, so dass die langfristige Nachhaltigkeit der Muskelaufbaueffekte im Vergleich verschiedener Nachhaltigkeitskonzepte Gegenstand weiterer Forschung sein sollte. Diesbezüglich zeigen sich auch größere Defizite beim Vergleich muskulärer Krafttests mit verschiedenen Geräten, da die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Geräte und Bauweisen in den allermeisten Fällen nicht gegeben ist. Ebenso stehen die zum Einordnen der Messergebnisse notwendigen Referenzwerte nur selten zur Verfügung, so dass hier dringender Nachholbedarf besteht, um die Assessments im Verlauf als Parameter nutzen zu können.

Weitere Defizite finden sich bei der Betrachtung beruflich bedingter Überlastungsschäden, wobei insbesondere hier nicht nur die Kompensation der Beschwerden durch Muskelkräftigung der Gelenke, sondern auch die muskuläre Stärkung des Stütz- und Halteapparates zur Unterstützung eines gelenkschonenden Verhaltens im Vordergrund steht. Für ein besseres Verständnis der beruflichen Bedürfnisse im Sinne nachhaltiger Muskelaufbaueffekte sollte die zukünftige Forschung die Standardrehabilitationsprogramme im Vergleich zu modifizierten Programmen untersuchen, die die beruflichen Anforderungen betonen.

### **1.3 Einordnung unter sportwissenschaftlichen Aspekten**

#### 1.3.1 Interdisziplinarität der Sportwissenschaften

Die in den Memoranden (DVS, 2023) beschriebene Interdisziplinarität der Sportwissenschaften wird in der Literatur bestätigt. In zahlreichen Arbeiten wird auf die einzelnen Forschungsfelder der Sportwissenschaft und deren vielfältige Aufgaben eingegangen sowie eine Entwicklung zu einem immer einheitlicheren System beschrieben, in dem sich die einzelnen Teildisziplinen von einer zunächst additiven Sportwissenschaft zu einer mutterwissenschaftsorientierten sportwissenschaftlichen Forschung ausgebildet haben (Carl, 1984; Hägele, 1996; Krüger, 2013). Dazu beschreibt Hägele (1996) die Wichtigkeit der interdisziplinären Forschung im Sinne einer problemorientierten Interdisziplinarität im Vergleich zu universalistischen Einheitsideologien. Auch Willimczik (2001; 2011) und Barisch-Fritz (2016) stellen die Interdisziplinarität als ein Strukturmerkmal der Sportwissenschaft dar und verweisen auf die Komplexität des Sports, dessen Problemstellungen sich nur schwerlich durch definierte Teildisziplinen lösen lassen.

#### 1.3.2 Einordnung der Erkenntnisgewinne der einzelnen Arbeiten in die Sportwissenschaft

Das vom Verfasser gewählte bereichsübergreifende Dissertationsthema der empirischen Überprüfung der Nachhaltigkeit von Krafttrainingseffekten bei Rehabilitationspatienten betrifft nicht nur die ursprünglichen sportwissenschaftlichen Teilgebiete der Sportmedizin, Bewegungswissenschaft und -zumindest auch in kleineren Anteilen- der Trainingswissenschaft, sondern auch die in den letzten Jahrzehnten neu entstandenen interdisziplinären sportwissenschaftlichen Teilgebiete wie Sport und Gesundheit, Sport und Prävention oder Sport

und Rehabilitation (DVS, 2005). Desgleichen wird mit den Arbeiten den im „Memorandum Sportwissenschaft“ (DVS, 2017; Hottenrott, 2017) beschriebenen Aspekten wie der präventiven Förderung, des Erhalts und der Wiederherstellung von Gesundheit bzw. der Behandlung von Krankheiten durch Sport und Bewegung Rechnung getragen.

### 1.3.3 Thematische Zuordnung der Arbeiten zu den entsprechenden sportwissenschaftlichen Teilgebieten

Die Überprüfung einer längerfristigen Nachhaltigkeit der erzielten Krafttrainingseffekte sollte regelhaft nach Trainingsmaßnahmen durchgeführt werden, da Interventionen nur dann sinnvoll erscheinen, wenn wirklich nachhaltige und klinisch relevante Effekte erreicht werden können, was alle im vorherigen Absatz genannten Bereiche der Sportwissenschaft betrifft. Die Effektivität von Maßnahmen bezieht sich auf die langfristige Beständigkeit der erzielten positiven Effekte, um eine kontinuierliche Verbesserung sowie eine dadurch bedingte gesamtpositive Entwicklung zu erreichen. Im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes können nachhaltige Effekte die Basis für weitere Veränderungen darstellen und so die Grundlage für einen systemischen Wandel bei Veränderungen von Verhaltens- und Denkweisen bilden.

Das gleiche gilt für die dafür bei den entsprechenden Messungen erforderlichen Standards und Referenzwerte, die bei der Vielzahl der praktizierten Methoden und unterschiedlichen Krafttestgeräte notwendig erscheinen, um die erhaltenen Werte vergleichen zu können. Standards und Referenzwerte sind die Basis aller klinischer Wirkungsanalysen und Verlaufsbeurteilungen, ohne die es leicht zu Fehlinterpretationen erhobener Test- und Messwerte kommen

würde. Neben der Diagnosefindung und Bewertung einzelner Ergebnisse sind Standards und Referenzwerte für Verlaufsbeobachtungen und Erfolgskontrollen notwendig, um Statusveränderungen anhand von Orientierungspunkten zu verifizieren und anschließend entsprechend dem analysierten Ergebnis die körperliche Fitness, Leistungsfähigkeit oder die Trainingsfortschritte optimal zu steuern.

Die Überprüfung einer Vereinfachung des Zugangs zu Muskelaufbauprogrammen durch Ergebnisvergleiche verschiedener Subgruppen betrifft ebenfalls die sportwissenschaftlichen Teilgebiete der Sportmedizin und Bewegungswissenschaft sowie die übergreifenden sportwissenschaftlichen Teilgebiete Sport und Gesundheit, Sport und Prävention sowie Sport und Rehabilitation. Da gerade Präventionsprogramme darauf abzielen, die bestehende Gesundheit zu verbessern und gesunde Verhaltensweisen zu fördern, sollte der Zugang zu solchen Programmen möglichst vielen Menschen zur Verfügung stehen, damit sie von den Effekten und Informationen profitieren können die sie dabei unterstützen, gesunde Lebensweisen zu entwickeln. Gerade durch einen einfachen Zugang zu Präventionsprogrammen kann frühzeitig auf potentielle gesundheitliche Risiken aufmerksam gemacht werden, was eine frühzeitige Intervention ermöglicht, bevor sich Probleme verschlimmern oder ernsthafte Erkrankungen entstehen. Daneben tragen die effiziente Einsetzung von Investitionen und Ressourcen zur Verbesserung der öffentlichen Gesundheit bei, wenn dadurch einer möglichst großen Population der Zugang zu präventiven Maßnahmen ermöglicht wird. So können das Bewusstsein für Gesundheitsvorsorge gefördert, langfristig Gesundheitskosten reduziert und kostspielige medizinische Eingriffe oder langfristige Behandlungen vermieden werden.

## **2. Allgemeine und spezielle Ziele dieser Promotion**

### **2.1 Allgemeine Ziele**

Die allgemeinen Ziele dieser Promotion sind die Überprüfung von nachhaltigen Krafttrainingseffekten durch Aufbau gelenkstabilisierender Muskulatur an Krafttrainingsgeräten, die Untersuchung von Optimierungsmöglichkeiten der Bewertungen dieser erzielten Muskelaufbaueffekte im Verlauf zur Sicherung der Nachhaltigkeit sowie die Prüfung von Möglichkeiten der Vereinfachung des Zugangs zu solchen nachhaltigen Muskelaufbauprogrammen im rehabilitativen Setting.

Diese innerhalb der Sportwissenschaft bereichsübergreifend angesiedelten Themen betreffen überwiegend die interdisziplinären sportwissenschaftlichen Teilgebiete Sportmedizin, Bewegungswissenschaft, Sport und Gesundheit, Sport und Prävention sowie Sport und Rehabilitation im Sinne der präventiven Förderung, des Erhalts und der Wiederherstellung von Gesundheit bzw. der Behandlung von Krankheiten durch Sport und Bewegung, wie sie 2017 von der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft (DVS) und Hottenrott beschrieben wurden.

### **2.2 Forschungsfragen dieser kumulativen Dissertation**

#### Die Forschungsthema 1:

Feststellung der Nachhaltigkeit erreichter Muskelaufbaueffekte in Bezug auf Kraft und klinische Kennwerte wie Schmerzbesserung durch Krafttraining in Abhängigkeit selbstorganisierter systematischer Kraftübungen über einen Zeitraum von 2 Jahren bei Gonarthrose-Patienten.

### Forschungsthema 2:

Die Feststellung von Maximalkraftkennwerten der Rumpfkraft zur Unterstützung der Bewertung und Beurteilung der Nachhaltigkeit der erzielten Muskelaufbaueffekte mit Fokus auf körpergewichtsadjustierte Kennwerte in allen Dimensionen bei Rückenschmerzpatienten und dabei insbesondere auf die Quotienten der funktionellen Antagonisten Rumpf-Extension und -Flexion, Knie-Extension und -Flexion sowie die Seitensymmetrie.

### Forschungsthema 3:

Der Vergleich der Effekte eines kombinierten Kraft- und Ausdauertrainings im Rahmen eines dreiwöchigen Rehabilitationsprogramms bei Patienten verschiedener Berufsgruppen mit chronischen Rückenschmerzen zur Eruiierung der Möglichkeiten der Implementierung von Rehabilitationsprogrammen für gemischte Berufsgruppen, durch welche der Zugang zu nachhaltigen Muskelaufbauprogrammen vereinfacht werden kann.

### **3. Publikationen**

Dieses Kapitel dient der Zusammenfassung der veröffentlichten Einzelpublikationen sowie der Darlegung der Beitragsanteile der jeweiligen Autoren. Neben einer Benennung der Intention für die angestellten Untersuchungen werden die Methodik sowie die Resultate kompakt dargestellt. Eine Diskussion der Ergebnisse erfolgt im Folgekapitel unter Berücksichtigung der jeweiligen Forschungsfragen sowie einer Gesamtbeurteilung von Limitationen und Potenzialen der Ergebnisse.

#### **3.1 Methodische Übersicht**

Die Bearbeitung des Themas erfolgte mit unterschiedlichen Methoden. Zu Beginn des Gesamtprojektes wurden Krafttrainingseffekte in einer retrospektiven Beobachtungsstudie (Pietsch et al., 2022) auf ihre zweijährige Nachhaltigkeit überprüft. Geeignet für das Monitoring von klinisch relevanten Gonarthrosetherapieeffekten ist der international validierte und häufig eingesetzte Funktionsfragebogen „Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC)“, der mit dem „EQ-5D-3L (EuroQol)“ und dem „Performance Assessment and Capacity Testing (PACT)“ kombiniert wurde. Zur Messung von Kraft und Ausdauer wurden die jeweils als Goldstandard geltenden Verfahren ausgewählt, für die Kraftdiagnostik die isokinetische Testung der dynamischen submaximalen Kraft und für die Ausdauer die Physical Working Capacity (PWC). Der PWC als herzfrequenzbasierte Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit wurde bewußt gewählt, da die Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2max</sub>) mittels Spirometrie aufgrund des erhöh-



ten Zwischenfallrisikos durch die bei dieser Stichprobe vermehrt bis häufig auftretenden Risikofaktoren wie hohe Blutfettwerte, arterieller Bluthochdruck, Rauchen, Diabetes mellitus oder das Vorliegen von Vorerkrankungen am Herzen nicht als zielführend erachtet wurde (Finger et al., 2013). Als Stichprobe wurden Gonarthrosepatienten gewählt, die aufgrund der zweijährigen Dauer ihres Rehabilitationsprogrammes mit mehreren möglichen Messzeitpunkten geeignet für die Prüfung der Nachhaltigkeit ihres Muskelaufbauprogrammes erschienen.

Daraufhin wurden in einer punktuellen Querschnittsstudie (Pietsch et al., 2021a) Referenzwerte einer Spezialkohorte von Rückenschmerzpatienten für geschlechts- und altersdifferenzierte Cluster bestimmt. Als Goldstandard beim Monitoring von Muskelkrafteffekten bei Patienten mit Rückenbeschwerden gilt die quantitative Messung der muskulären Maximalkraft mittels isometrischer Drehmomentmessung, so dass diese im Rahmen einer Prä- und Post-Messung zu Beginn und am Ende einer dreiwöchigen Rehabilitationsmaßnahme durchgeführt wurden.

Abschließend wurde in einer prospektiven Beobachtungsstudie (Pietsch et al., 2021b) das Outcome verschiedener Berufsgruppen im Rahmen eines kombinierten Kraft- und Ausdauertrainingsprogrammes erhoben. Hierbei wurde der international validierte und häufig eingesetzte Funktions- und Lebensqualitätsfragebogen „Oswestry Disability Index (ODI)“ verwandt, in Kombination mit den schon oben genannten Assessments der quantitativen Messung der muskulären Maximalkraft sowie der Messung der Ausdauer durch die PWC. Für

die Stichprobe wurden Patienten verschiedener Berufsgruppen zur vergleichenden Beurteilung der erzielten Effekte ausgewählt.

### **3.2 Publikation 1: Acute effects of an exercise based multimodal in-patient rehabilitation protocol in male knee osteoarthritis patients and the two years follow-up sustainability**

#### 3.2.1 Einleitung

Zur Annäherung an die Forschungsfragestellung bezüglich der Nachhaltigkeit von Krafttrainingseffekten wurden in dieser Beobachtungsstudie bei diagnostizierten Kniearthrose-Patienten retrospektiv die Ergebnisse der während ihrer Trainingsmaßnahme untersuchten Assessments (1.2.2.1.1 – 1.2.2.1.5) bestimmt. Beginnend mit den Basismessungen (T1) wurden die Daten direkt nach einem dreiwöchigen stationären Starterprogramm (T2) und am ersten Tag der 5-tägigen Auffrischungsmaßnahmen nach einem (T3) und zwei Jahren (T4) erneut bewertet.

Die Patienten wurden gebeten, während der 12 Monate zwischen dem Starter- und dem ersten Auffrischkurs sowie zwischen dem ersten und dem zweiten Auffrischkurs die speziell angewiesenen Knieübungen heimatnah in einem Fitnessstudio durchzuführen (mindestens 1 bis 2 Sitzungen pro Woche). Wenn dies aufgrund der persönlichen Situation der Patienten nicht möglich war, wurden sie gebeten, ein individuell gestaltetes Heimtrainingsprogramm (mindestens 1 bis 2 Sitzungen pro Woche) zu absolvieren, das vorher während der ersten 3 Wochen unterrichtet und besprochen wurde. Um die Einhaltung der Therapie zu überprüfen und die Patienten zur Aufrechterhaltung der Compliance zu motivieren, wurden sie im ersten Jahr nach 2 Wochen

sowie nach 2, 5 und 9 Monaten telefonisch kontaktiert, im zweiten Folgejahr nach 2, 4, 7 und 10 Monaten (Bennell et al., 2017; Pietsch et al., 2019).

Abhängig von der Einhaltung der empfohlenen Langzeitübungen zwischen Starterkurs und erstem Auffrischkurs sowie zwischen erstem und zweitem Auffrischkurs wurden die Patienten nachträglich einer von drei Teilstichproben (Gruppe 1: Training im Fitnessstudio, Gruppe 2: Heimtraining, Gruppe 3: kein Sport) zugeordnet (Abb. 1).

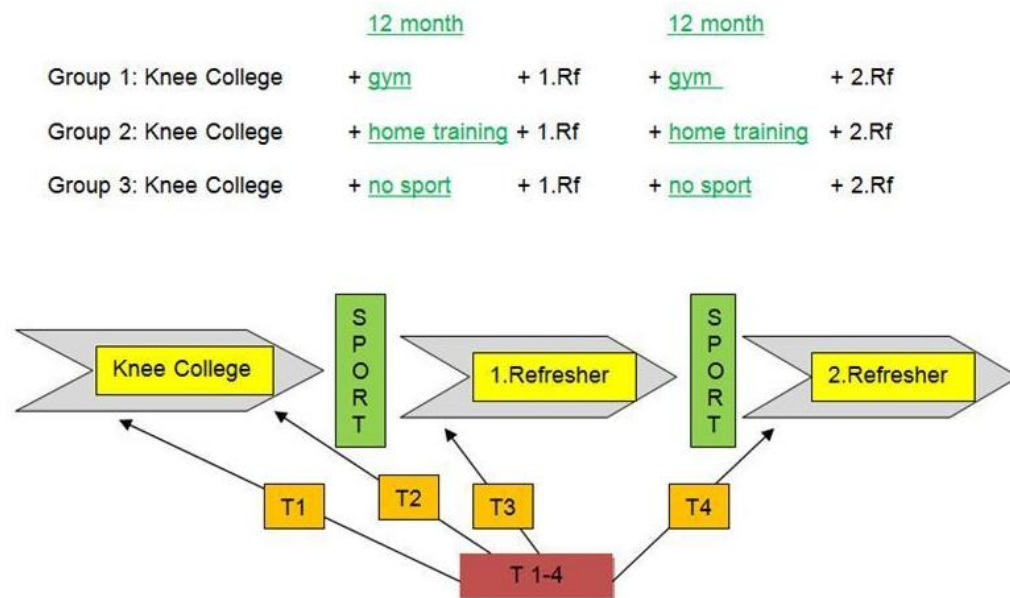


Abb.1: Messzeiten vor (T1) und nach (T2) einem Starterkurs, vor dem ersten (T3) und vor dem zweiten (T4) Auffrischkurs nach jeweils einem Jahr mit Einhaltung des Trainings (Fitnessstudio, Heimtraining, kein Sport) entsprechend der einzelnen Gruppen (Group 1-3) (Pietsch et al., 2022)

Nach der Zuordnung wurden die Datensätze vollständig anonymisiert und damit für den Statistiker verblindet. Die Daten wurden als Mittelwert und Standardabweichung beschrieben. Eine 2-Wege-ANOVA wurde berechnet, um den Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Gruppe“ und „Zeit“ (3 x 4) zu analysieren. Im Falle eines signifikanten Mauchly-Tests wurden die Greenhouse-Geisser-korrigierten p-Werte für die Zeit und den Wechselwirkungseffekt akzeptiert. Im Falle eines signifikanten Haupteffekts wurde ein Post-hoc-Mehrfachtestverfahren (Bonferroni) durchgeführt, um signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen oder den Zeitpunkten festzustellen. Zusätzlich wurden gruppenweise gepaarte t-Tests und die Effektgröße (Cohens d) durchgeführt, um die Grundlinienwerte (T1) mit jedem der späteren Zeitpunkte (T2, T3 und T4) zu vergleichen. Für zusätzliche Querschnittsvergleiche zwischen den Gruppen zu jedem einzelnen Zeitpunkt wurde eine Einweg-ANOVA mit einem der Post-hoc-Bonferroni-Verfahren berechnet (SPSS 22, IBM-SPSS, Armonk, VA, USA). Die Signifikanz wurde für  $p \leq 0,05$  akzeptiert. Cohens  $d \geq 0,8$  beschreibt einen starken Effekt,  $d \geq 0,5$  bedeutet eine moderate,  $d \geq 0,2$  eine kleine und  $d < 0,2$  eine triviale Effektgröße.

### 3.2.2 Assessments

#### 3.2.2.1 Isokinetische Kraftmessung

Das maximale isokinetische Drehmoment [Nm] wurde unter Verwendung eines computergesteuerten Dynamometers (Biodex System 4 Pro, Proxomed, Alzenau, Deutschland) während sitzender dynamischer (konzentrisch-konzentrischer) Kontraktionen (vollständig auf einen  $90^\circ$  gebeugten Kniewinkel verlängert) für die isolierte Kniestreckung und -flexion bewertet. Das Protokoll umfasste 15 Wiederholungen bei einer vorab festgelegten Geschwindigkeit

von 150°/s (Lohss et al., 2017). Das Leistungsverhältnis zwischen der Knie-sehnen- und Quadrizepsmuskulatur (in %) wurde berechnet (H/Q-Verhältnis) und diente als Ergebnis für statistische Analysen.

#### 3.2.2.2 PWC (Physical Working Capacity)

Die Ausdauerleistung der Patienten wurde mit einem Fahrradergometriegerät (Kardiomed B-Cycle, Proxomed, Alzenau, Deutschland) bewertet. Ein PWC-Testprotokoll (Stufentest:  $\Delta + 25$  Watt alle 2 Minuten) wurde durchgeführt, um die mechanische Leistung bei einer vorab festgelegten Herzfrequenzschwelle von 130 Schlägen pro Minute zu bestimmen (Hollmann et al., 1981). Die resultierende Leistung (in Watt) diente als Ergebnis für die statistischen Analysen.

#### 3.2.2.3 WOMAC (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index)

Der WOMAC-Fragebogen mit seinen drei Subskalen für Schmerz (A), Steifheit (B) und körperliche Beeinträchtigung (C) diente als Standardbewertungsskala für die spezifische Bewertung von funktionellen Einschränkungen aufgrund von Arthrose (Stucki et al., 1996).

#### 3.2.2.4 EuroQol

Der EuroQol-Fragebogen wurde zur Bestimmung der Lebensqualität verwendet und besteht aus einer visuellen Analogskala (EQ-VAS: subjektive Selbsteinschätzung der Gesundheit von 1 bis 100 Punkten) und einem Beschreibungssystem (EQ-5D-3L: Bewertung des Funktionsniveaus für Mobilität), das

den Gesundheitszustand bei Beweglichkeit/Mobilität, Selbstversorgung, allgemeinen Tätigkeiten, Schmerzen/Beschwerden und Angstzuständen/Depressionen beschreibt, wobei der Gesundheitszustand von „1“ (sehr gut) bis „0“ (sehr schlecht) kodiert ist (Mulhern et al., 2016).

#### 3.2.2.5 PACT-Test (Performance Assessment and Capacity Testing)

Der PACT-Test beschreibt die Wahrnehmung der Patienten hinsichtlich ihrer Fähigkeit, tägliche Aktivitäten auszuführen. Die wahrgenommenen Werte für die Funktionsfähigkeit reichen von 0 bis 200 Punkten. Patienten mit einer Punktzahl <100 wurden als minimal arbeitsfähig eingestuft (Matheson et al., 1993).

#### 3.2.3 Ergebnisse

Als Hauptergebnis identifizierten wir gruppenabhängige Unterschiede für alle Ergebnisänderungen im Verlauf von zwei Jahren in Bezug auf signifikante Interaktionseffekte ( $p < 0,001$ , außer H/Q-Verhältnis:  $p = 0,03$ ). Alle Ergebnisparameter zeigten einen signifikanten globalen Zeiteffekt ( $p < 0,001$ ), der Änderungen von der Basislinie (T1) zu den späteren Zeitpunkten (T2, T3, T4) aufwies. Gruppenunabhängige Verbesserungen bei T2 blieben für die körperliche Ausdauerleistung (PWC) bis T4 konstant. Diese Verbesserungen hielten jedoch nicht während der gesamten zweijährigen Nachbeobachtungszeit für die anderen Ergebnisse an. Neben den globalen Haupteffektanalysen waren gruppenweise Analysen erforderlich, um zwischen den Übungs-Compliance-Gruppen hinsichtlich ihrer Verbesserungen und insbesondere hinsichtlich deren Nachhaltigkeit zu unterscheiden. Zu Studienbeginn (T1) gab es bei keinem

Parameter signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Bei genauer Betrachtung der gruppenweisen Änderungen von T1 nach T2 fanden wir signifikante Verbesserungen für alle drei Gruppen ( $p = 0,048$  bis  $< 0,001$ ) mit Ausnahme des H/Q-Verhältnisses (in %) innerhalb der Gruppe 3 ( $p = 0,081$ ). Zum folgenden Zeitpunkt der Messung (T2) gab es erneut keine signifikanten mittleren Querschnittsunterschiede in irgendeinem Parameter zwischen den Gruppen.

Zum einjährigen Follow-up-Zeitpunkt (T3) blieben die Unterschiede zwischen T3 und den Basiswerten (T1) in allen Gruppen signifikant ( $p = 0,049$  bis  $< 0,001$ ), mit Ausnahme der PACT- und EQ-Gesamtwerte in Gruppe 2 ( $p = 0,556$  bzw.  $p = 0,068$ ) und für das H/Q-Verhältnis in Gruppe 3 ( $p = 0,336$ ). Die Querschnittsanalyse bei der einjährigen Nachuntersuchung ergab einen signifikant schlechteren Zustand von Gruppe 3 im Vergleich zu Gruppe 1 in der A- und C-Dimension des WOMAC und im PWC-Leistungswert ( $p > 0,05$ ). Für die Werte WOMAC-B, PACT, EQ-total und H/Q-Verhältnis gab es bei T3 keine signifikanten Unterschiede im jeweiligen Gruppenmittel.

Bei der zweijährigen Nachuntersuchung zeigte Gruppe 3 keine signifikanten longitudinalen mittleren Unterschiede zwischen T4 und T1 in den physikalischen Leistungsparametern H/Q-Verhältnis und PWC ( $p = 0,651$  bzw.  $0,055$ ). Darüber hinaus zeigte Gruppe 3 in den meisten funktionellen Scores wie WOMAC-A, WOMAC-C, PACT und EQ-total ( $p > 0,05$ ) keine signifikanten mittleren Unterschiede zwischen T4 und T1. Gruppe 2 zeigte einige mittlere Unterschiede zwischen T4 und T1, die jedoch für den PACT-Score und das H/Q-Verhältnis nicht mehr signifikant waren ( $p = 0,082$  bzw.  $p = 0,585$ ). In Gruppe

1 blieben alle mittleren Unterschiede zwischen T4 und T1 hoch signifikant ( $p < 0,001$ ), was auf Nachhaltigkeit des jeweils 12-monatigen, heimatnahen Trainings hinweist.

Diese gruppenabhängigen Unterschiede in der zweijährigen Nachhaltigkeit führten zu signifikanten Querschnittsunterschieden bei T4. Gruppe 1 war in allen Parametern signifikant besser als Gruppe 3 ( $p < 0,05$ ), mit Ausnahme des H/Q-Verhältnisses. Darüber hinaus war Gruppe 1 in der WOMAC-A-Dimension signifikant besser als Gruppe 2, sowie Gruppe 2 signifikant besser als Gruppe 3, wobei zusätzlich der EQ-Gesamtscore und der PWC-Leistungswert ( $p < 0,05$ ) Vorteile für die Heimtrainingsgruppe im Vergleich zu der Gruppe ohne Training zeigten.

Die Effektgrößen für die einjährigen Nachhaltigkeitswerte ( $\Delta T1 - T3$ ) waren erheblich kleiner als die für die akuten Interventionseffekte ( $\Delta T1 - T2$ ) und für die zweijährige Nachhaltigkeit ( $\Delta T1 - T4$ ) sogar noch kleiner.

#### 3.2.4 Darlegung des eigenen Anteils

Nachfolgend wird der Beitrag der einzelnen Autorinnen und Autoren in Anlehnung an die Contributor Roles Taxonomy (CRediT) (Brand, 2015; NISO CRediT Working Group, 2022) dargelegt.

Pietsch, A., Schroeder, J., Dalichau, S., Reer, R., Engel, D., Wahl-Wachendorf, A., Solbach, T., Edler, C., & Riepenhof, H. (2022). Acute effects of an exercise based multimodal in-patient rehabilitation protocol in male knee osteoarthritis patients and the two years follow-up sustainability. *WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*, accepted 20.09.2022.



AP	Conceptualization, data cruration, investigation, methodology, project administration, supervision, visualization, writing – original draft, writing – review & editing
JS	Formal analysis, writing – review & editing
SD	Conceptualization, data cruration, investigation, methodology
RR	Supervision
DE	Supervision
AWW	Supervision
TS	Supervision
CE	Investigation
HR	Project administration

### **3.3 Publikation 2: Referenzwerte in der isometrischen Kraftdiagnostik – Messung von Rumpfkraftwerten bei Patienten mit Rückenschmerzen**

#### 3.3.1 Einleitung

Im Vorwege der vergleichenden Studie von Effekten nach Durchführung von Kraft- und Ausdauertraining bei verschiedenen Berufsgruppen mit Rückenschmerzen wurde zur Feststellung von Referenzwerten bei der isometrischen Maximalkrafttestung mit Hilfe des Messsystems Myoline® (Diers, Schlangenbad, Deutschland) eine retrospektive punktuelle Querschnittstudie im Rahmen einer stationären Rehabilitationsmaßnahme mit einer Spezialkohorte (Rückenschmerzpatienten) für geschlechts- und altersklassendifferenzierte Cluster durchgeführt.

Die Rumpfmuskelkraft in der komplexen Rumpfrotation und Lateralflexion sowie in der Rückenstreckung und komplexen Rumpfbeugung – jeweils unter Einbeziehung aller Synergisten – wurde im Sitzen unter standardisierten Bedingungen mit Hilfe des Messsystems Myoline® als isometrische Maximalkraft

getestet (Dehnungsmessstreifen-Kraftmessdose: 100 Hz, Filter: gleitendes Mittel über 0,3 s). Die interindividuell standardisierte Positionierung und Fixierung (Begrenzungsflächen, höhenverstellbares Schulterelement sowie Hüft- und Oberschenkelgurte) erlaubten eine zuverlässige Ermittlung der Kräfte in Extension und Flexion (Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) > 0,95) (Schröder et al., 2014), zumal vor jeder Testung maximale Übungskontraktionen durchgeführt wurden. Die absoluten Kräfte (in N), die auf das Körpergewicht relativierten Kräfte (N/kg) und die aus den relativierten Kraftkennwerten berechneten Quotienten (%) sowohl für die Rumpfrotation und die Seitneigung nach links und rechts (li/re) als auch für die Flexion und Extension (Flex/Ex) wurden der statistischen Analyse zugeführt.

Die Daten wurden deskriptiv als Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) sowie durch den Standardfehler des Mittels (SEM) und das resultierende 95 % Konfidenzintervall mit den jeweiligen Unter- und Obergrenzen beschrieben. Zusätzlich wurden Minima (Min) und Maxima (Max) ausgewiesen. Für die inferenzstatistische Prüfung wurde die Normalverteilung verifiziert (Kolmogorov-Smirnov-Test). Eine zweifaktorielle Varianzanalyse (F-Wert, p-Wert) mit dem Effektstärkemaß  $\eta^2_{\text{part}}$  (partielles Eta<sup>2</sup>) für die Faktoren Geschlecht (Frauen vs. Männer) und Altersklasse (18–35 Jahre vs. 36–50 Jahre vs. 51–65 Jahre) mit Post-hoc-Testung (Bonferroni-Prozedur für Mehrfachtestungen) sowie deren Interaktion wurde berechnet, um systematische Effekte zu identifizieren (SPSS 22, IBM-SPSS, Armonk, VA, USA). Signifikanz wurde akzeptiert bei  $p \leq 0,05$ .

### 3.3.2 Ergebnisse

Die in dieser Studie untersuchten Patienten ( $n = 678$ ; 541 Frauen, 137 Männer) kamen aus unterschiedlichen Berufen und hatten ein Lebensalter zwischen 18 und 65 Jahren. Die Gesamtgruppe wurde geschlechtersepariert in Altersklassen eingeteilt (18–35, 36–50, 51–65). Die Rumpfkraftwerte wurden deskriptiv sowohl für die absoluten Kräfte (N) als auch für die auf das Körpergewicht relativierten Kräfte (N/kg) und deren Antagonistenquotienten tabellarisch separat für Frauen und Männer aller Altersklassen aufbereitet und stehen somit für Vergleiche mit anderen Datensätzen zur Verfügung. Die für die Rückenschmerzdiagnostik bzw. ein Verlaufsmonitoring besonders interessierenden Quotienten aus Rumpfbeugung und Rückenstreckung (Flex/Ex) wurden dazu graphisch illustriert und verdeutlichen, dass das Verhältnis von Beugung zu Streckung in der konkreten biomechanischen Umsetzung der aktuellen Myoline®-Messkette bei Rückenschmerzpatienten aller Altersklassen und beider Geschlechter im statistischen Mittel ungefähr 1 zu 2 betrug (ca. 50 %), allerdings mit individuell erheblichen Streuungen. Die Quotienten für die Lateralflexion (li/re) und die Rumpfrotation (li/re) bildeten im statistischen Mittel eine annähernde Symmetrie (1:1 Relation) ab, ebenfalls mit einer großen Streuung (SD), die auf individuell stark variierende Abweichungen von der Symmetrie bei den Rückenschmerzpatienten hinwies.

Eine zweifaktorielle Varianzanalyse (Geschlecht x Altersklassen) wurde für die Relativkräfte und deren Quotienten gerechnet und ergab folgende Effekte:

Für die auf das Körpergewicht relativierte Rückenstreckkraft besteht eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Geschlecht und Alter ( $F = 3,48$ ;  $p = 0,031$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,01$ ). Die Männer aller Altersklassen erwiesen sich im Mittel

um 2,5 N/kg stärker als die Frauen aller Altersklassen (9,1 N/kg vs. 6,6 N/kg;  $F = 35,61$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,05$ ). Gleichzeitig gab es einen signifikanten Alterseffekt ( $F = 7,20$ ;  $p = 0,001$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,02$ ). Die Gruppe der Älteren beiderlei Geschlechts (51–65 Jahre: 7,0 N/kg) waren dabei signifikant schwächer als die jüngere (18–35 Jahre: 8,9 N/kg;  $p = 0,003$ ) und die mittlere Altersgruppe (36–50 Jahre: 7,8 N/kg;  $p = 0,044$ ).

Für die auf das Körpergewicht relativierte Rumpfbeugekraft war die Interaktion zwischen den Faktoren Geschlecht und Alter nicht signifikant ( $F = 2,62$ ;  $p = 0,074$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,008$ ). Allerdings blieben die Unterschiede zwischen den Geschlechtern (Männer 3,6 N/kg vs. Frauen 3,1 N/kg;  $F = 8,51$ ;  $p = 0,004$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,013$ ) und den Altersklassen beider Geschlechter ( $F = 3,94$ ;  $p = 0,020$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,012$ ) als Haupteffekte signifikant. Für den Quotienten aus Flexion (N/kg) und Extension (N/kg) wurde weder ein Geschlechterunterschied (Frauen 51 % vs. Männer 47 %;  $F = 0,48$ ;  $p = 0,616$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,001$ ) noch ein Alterseffekt ( $F = 0,15$ ;  $p = 0,864$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,000$ ) gefunden.

Für die Lateralflexion war die Interaktion zwischen den Faktoren Geschlecht und Alter beidseits nicht signifikant (links:  $F = 0,96$ ;  $p = 0,384$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,003$ ; rechts:  $F = 0,30$ ;  $p = 0,741$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,001$ ). Auch hier blieben die Unterschiede zwischen den Geschlechtern und den Altersklassen beider Geschlechter als Haupteffekte signifikant. Für den Quotienten aus Lateralflexion links und rechts wurde wie beim Quotienten der Flexion und Extension weder ein Geschlechterunterschied (Frauen 98 % vs. Männer 104 %;  $F = 1,76$ ;  $p = 0,186$ ;

$\eta^2_{\text{part}} = 0,003$ ) noch ein Alterseffekt ( $F = 0,28$ ;  $p = 0,759$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,001$ ) gefunden.

Für die Rumpffrotation war, vergleichbar zur Lateralflexion, die Interaktion zwischen den Faktoren Geschlecht und Alter beidseits nicht signifikant (links:  $F = 1,09$ ;  $p = 0,339$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,003$ ; rechts:  $F = 1,07$ ;  $p = 0,344$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,003$ ). Ebenfalls blieben die Unterschiede zwischen den Geschlechtern und den Altersklassen beider Geschlechter als Haupteffekte signifikant. Für den Quotienten aus Rumpffrotation links und rechts wurde wie bei den Quotienten der Flexion und Extension sowie der Lateralflexion weder ein Geschlechterunterschied (Frauen 108 % vs. Männer 104 %;  $F = 0,57$ ;  $p = 0,450$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,001$ ) noch ein Alterseffekt ( $F = 0,41$ ;  $p = 0,664$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,001$ ) gefunden.

### 3.3.3 Darlegung des eigenen Anteils

Nachfolgend wird der Beitrag der einzelnen Autorinnen und Autoren in Anlehnung an die Contributor Roles Taxonomy (CRediT) (Brand, 2015; NISO CRediT Working Group, 2022) dargelegt.

Pietsch, A., Schröder, J., Reer, R., Edler, C., Kutasow, A., & Riepenhof, H. (2021). Referenzwerte in der isometrischen Kraftdiagnostik. *Der Orthopäde*, 50(11), 946-954.

- AP Conceptualization, data cruration, investigation, methodology, project administration, supervision, visualization, writing – original draft, writing – review & editing
- JS Conceptualization, data cruration, formal analysis, methodology, project administration, supervision, visualization, writing – original draft, writing – review & editing
- RR Supervision

CE Investigation  
AK Data cruration, investigation  
HR Project administration

### **3.4 Publikation 3: Acute effects of a combined strength and endurance training rehabilitation protocol for patients in different professions with back pain**

#### 3.4.1 Einleitung

Im Rahmen dieser prospektiven Beobachtungsstudie wurden die klinischen Ergebnisse diagnostizierter Rückenschmerzpatienten verschiedener Berufsgruppen während ihres Trainingsprogrammes überwacht. Die Patienten absolvierten im Rahmen ihres dreiwöchigen Rehabilitationsprogramms jeden Morgen ein 90-minütiges sowie jeden Nachmittag ein 60-minütiges gerätegesteuertes Muskelaufbautraining der Rücken- und Rumpfmuskulatur. Zusätzlich führten sie täglich ein 30-minütiges Ausdauertraining mit einem Ergometer durch (Behl-Schön et al., 2013). Beginnend mit den Basislinienmessungen (T1) wurden die Daten unmittelbar nach Abschluss des dreiwöchigen Trainingsprotokolls neu bewertet (T2).

Nach ihrer Zuordnung zu den verschiedenen Berufsgruppen wurden die Datensätze vollständig anonymisiert und waren somit für den Statistiker blind. Die Daten wurden als Mittelwert und Standardabweichung beschrieben. Die Normalverteilung wurde getestet (Kolmogorov-Smirnov-Test), jedoch in den meisten Variablen nicht bestätigt. Daher wurde eine Einweg-ANOVA durchgeführt, die im Falle einer fehlenden Normalität der Proben robust ist, um die mittleren Unterschiede zwischen den Berufen in ihren relativen Veränderungen (%) von T1 zu T2 zu testen. Da für die Verteilung der Proben selbst keine Normalität

erforderlich ist, sondern nur für die Unterschiede zwischen T1- und T2-Werten, wurde ein gepaarter t-Test berechnet, um signifikante Änderungen der absoluten Werte zu untersuchen (IBM SPSS, Armonk, VA, USA). Die Signifikanz wurde für  $p \leq 0,05$  akzeptiert.

### 3.4.2 Assessments

#### 3.4.2.1 Isometrische Kraftmessung

Die Rumpfmuskelkraft in der komplexen Rumpfrotation und lateralen Flexion sowie die Rückenstreckung und die Rumpfflexion – jeweils unter Einbeziehung aller Synergisten – wurden im Sitzen unter standardisierten Bedingungen mit dem Myoline®-Messsystem (Diers, Schlangenbad, Deutschland) als freiwillige isometrische Spitzenkraft (Dehnungsmessstreifen-Kraftmessdose: 100 Hz, Filter: gleitendes Mittel über 0,3 s) getestet. Um sich mit dem Verfahren zur Beurteilung der Spitzenkraft vertraut zu machen, wurden vor dem Krafttest maximale Kontraktionen durchgeführt. Die interindividuelle standardisierte Positionierung und Fixierung (Grenzflächen, höhenverstellbares Schulterelement sowie Hüft- und Oberschenkelgurte) ermöglichte eine zuverlässige Beurteilung der Spitzenkraft. Die Reproduzierbarkeit wurde früher untersucht und ergab hervorragende Zuverlässigkeitskoeffizienten ( $ICC > 0,95$ ) [Schroeder et al., 2014]. Die absoluten Spitzenkräfte (in N) und die prozentualen Erhöhungen dienten als Ergebnisse für statistische Analysen.

#### 3.4.2.2 PWC (Physical Working Capacity)

Die Bestimmung der Ausdauerleistung der Patienten wurde im Rahmen eines PWC-Testprotokolls mit einem Fahrradergometriegerät durchgeführt (siehe Punkt 3.2.2.2).

#### 3.4.2.3 ODI (Oswestry Disability Index)

Der Oswestry Disability Index (ODI) wurde verwendet, um den Funktionsstatus und die Beeinträchtigung der Lebensqualität von Patienten in Bezug auf ihre Rückenschmerzen aufzuzeichnen. Der ODI fragt funktionale Einschränkungen bei Aktivitäten im täglichen Leben (ADL) in 10 Dimensionen ab, die sich auf das Sitzen, Stehen, Gehen, Heben und Schlafen auswirken sowie Einschränkungen in Bezug auf Schmerzintensität, persönliche Hygiene, Sexualleben (optional), soziales Leben und Reisen darstellen. In der Bewertung wird ein prozentualer Wert berechnet, der eine 5-stufige Zuordnung des Ergebnisses von leichter Behinderung bis hin zu Bettlägerigkeit ermöglicht (Mannion et al., 2006).

#### 3.4.3 Ergebnisse

In den Jahren 2019 und 2020 wurden 162 Rückenschmerzpatienten (ICD10: M54.- / ICF: b28013; Handwerker der Gruppe 1, n = 56 [96,6 % Männer]; Vorschullehrer der Gruppe 2, n = 45 [13,3 % Männer]; Pflegekräfte der Gruppe 3, n = 61 [16,4 % Männer]; Alter  $50,9 \pm 8,8$  [26–66] Jahre, Größe  $173,2 \pm 8,8$  [152–193] cm, Gewicht  $84,3 \pm 16,1$  [51–137] kg, BMI  $28,0 \pm 4,6$  [17,1–46,2] kg/m<sup>2</sup>) in die Studie aufgenommen, wenn sie aktiv am Arbeitsprozess beteiligt



waren sowie die deutsche Sprache sprechen und verstehen konnten. Alle Patienten wurden über das Datenbewertungsverfahren sowie die entsprechenden statistischen Auswertungen einschließlich der Datenverarbeitung gemäß der Deklaration von Helsinki in der neuesten Fassung informiert und gaben ihre schriftliche Zustimmung.

Die ODI-Behinderung ( $\Delta$ : - 12 bis - 15 %) sowie alle Rumpfmuskelspitzenkräfte (+ 20 bis + 50 %) und die aerobe Ausdauer (+ 8 bis + 10%) verbesserten sich mit Ausnahme der Vorschullehrer (Gruppe 2) von allen Teilproben signifikant ( $p < 0,01$ ). Gruppe 2 zeigte statistisch unveränderte PWC130-Werte (+ 4 %,  $p = 0,255$ ), die wiederum von einem kleinen, aber statistisch signifikanten Gewichts- und BMI-Anstieg (+ 1 %,  $p < 0,001$ ) begleitet waren, während Handwerker (Gruppe 1) und Pflegekräfte (Gruppe 3) keine Veränderungen ihres Gewichts oder ihres Taillenumfangs ( $p > 0,05$ ) zeigten. Alle Analysen ergaben große interindividuelle Unterschiede zwischen den Patienten bei ihren Prä-post-Tests. Keine signifikanten Unterschiede wurden zwischen den Berufsgruppen in Bezug auf ihre relativen Änderungen vor und nach dem Trainingsprotokoll festgestellt ( $p > 0,05$ ).

#### 3.4.4 Darlegung des eigenen Anteils

Nachfolgend der Beitrag der einzelnen Autorinnen und Autoren in Anlehnung an die Contributor Roles Taxonomy (CRediT) (Brand, 2015; NISO CRediT Working Group, 2022) dargelegt.

Pietsch, A., Schroeder, J., Reer, R., Edler, C., & Riepenhof, H. (2021). Acute Effects of a Combined Strength and Endurance Training Rehabilitation Protocol for Patients in Different Professions with Back Pain. *Physikalische Medizin - Rehabilitationsmedizin - Kurortmedizin*, 31(06), 386-392.

- AP Conceptualization, data cruration, investigation, methodology, project administration, supervision, visualization, writing – original draft, writing – review & editing
- JS Formal analysis
- RR Supervision
- CE Investigation
- HR Project administration

## **4. Diskussion**

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Überprüfung der Nachhaltigkeit positiver Muskelaufbaueffekte bei Rehabilitationspatienten nach Absolvieren von stationären Reha-Maßnahmen mit dem Fokus auf muskuläre Stabilisierung der entsprechenden Gelenke. Als Erfolg bewertendes Assessment werden isometrische Krafttestungen für eine zuverlässige und valide Testung der Muskelkraft angesehen, so dass hierfür Referenzwerte für im Verlauf zu vergleichende Ergebnisse benötigt werden. Um die Möglichkeit eines einfacheren Zugangs zu berufsspezifischen Rehabilitationsgruppen festzustellen, sollten die Effekte zwischen verschiedenen Subgruppen untersucht und verglichen werden. In den vorab durchgeführten Literaturrecherchen fanden sich nur wenige Arbeiten mit dem Ziel der Untersuchung der Nachhaltigkeit der erreichten Effekte über einen Zeitraum von mehr als 12 Monaten, der assessmentgesteuerten Verlaufsbewertung und dem darüber hinausgehenden Vergleich von Subgruppen nach diesem Zeitraum. Die wenigen vorliegenden Ergebnisse konnten durch die hier durchgeführten Erhebungen bestätigt werden, die gleichzeitig aufzeigten, welches Potential eine auf Nachhaltigkeit ausgelegte Gesundheitsförderung präventiv bewirken kann.

### **4.1 Hauptergebnisse**

#### **4.1.1 Nachhaltigkeit**

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen auf, dass die Nachhaltigkeit positiver akuter Effekte nach einer anfänglichen multimodalen Kurzzeitintervention bei Patienten mit Kniearthrose in Abhängigkeit von der individuellen Einhaltung der nachfolgenden Trainingseinheiten steht. Diejenigen Patienten, die während

des zweijährigen Beobachtungszeitraums ein überwachtes systematisches Trainingsprotokoll in einem Fitnessstudio absolvierten, zeigten anhaltende zweijährige Follow-up-Verbesserungen. Im Vergleich dazu zeigten diejenigen, die nur Heimtraining oder gar kein Training praktizierten, in der Mehrzahl der untersuchten klinischen und funktionellen Ergebnisse nach ein oder zwei Jahren eine signifikante Abnahme ihrer anfänglichen Verbesserungen. Der Nachweis sofortiger positiver Auswirkungen auf die Muskelkraft und Lebensqualität sowie auf Schmerzen und Funktionsstatus wurde bereits in früheren Übersichten beschrieben, während die Nachhaltigkeit der positiven Auswirkungen über einen Zeitraum von sechs Monaten in 86 eingeschlossenen Originalarbeiten nicht dargestellt werden konnte (Fransen, 2009; Fransen et al., 2015). In dieser Hinsicht können die hier beschriebenen Ergebnisse zu den Erkenntnissen beitragen, die in der Sekundärpräventionsforschung bei Kniearthrose gewonnen wurden. Die akuten Verbesserungen in Gruppe 1 (Training im Fitnessstudio) nach dem ersten dreiwöchigen Basiskurs blieben nicht nur über den zweijährigen Beobachtungszeitraum mit dem ersten Auffrischkurs nach einem Jahr und dem zweiten Auffrischkurs nach zwei Jahren bestehen, sondern verbesserten sich weiter, wenn auch langsamer. Die Schwierigkeit eines langfristigen Erfolgs für die Patienten besteht darin, nach den anfänglichen Verbesserungen aktiv zu bleiben. Dies könnte aufzeigen, dass eine Zugehörigkeit zu einem Fitnessstudio zusammen mit regelmäßigen Erinnerungen zu einer höheren Compliance und damit zu einer höheren Erfolgsquote führt, als wenn die Patienten zu Hause (in Eigenregie) trainieren oder überhaupt nicht trainieren. Auf Übungen basierende multimodale Trainingskonzepte für Patienten mit Kniearthrose, wie sie in den BG-Kliniken standardmäßig institutionalisiert sind,

umfassen nicht nur eine geführte Einzel- und Gruppentrainingstherapie, sondern auch pädagogische und psychologische Komponenten. Sie werden der Tatsache gerecht, dass eine reine Kräftigung der gelenkumfassenden Muskulatur nicht ausreicht, um die Langzeiteffekte sicherzustellen. Abgesehen von einer Studie mit einer deutlich geringeren Anzahl ( $n = 168$ ) von Fällen (Bennell et al., 2017) lagen für einen zweijährigen Beobachtungszeitraum keine Daten zur Langzeitwirksamkeit in Abhängigkeit von der Einhaltung des Trainings und dem Einfluss der Art des Langzeittrainings vor. Andere Arbeitsgruppen untersuchten unterschiedliche Interventions- und Vergleichsgruppen über einen Zeitraum von acht Wochen bis 18 Monaten, konnten jedoch keine interventionellen Unterschiede in der Wirksamkeit feststellen (Fransen et al., 2015; Juhl et al., 2014; Krauß, 2017; Krauß, 2016).

#### 4.1.2 Referenzwerte bei Muskelkrafttests

In der Literatur wird darauf hingewiesen (Müller, 1999), dass bei Rückenschmerzsyndromen ergänzend zur Strukturdiagnostik auch eine Funktionsdiagnostik durchgeführt werden sollte, wobei isometrische Krafttestungen als zuverlässige und valide Testung der Rumpfmuskelkraft beschrieben werden (Müller 1996). Die Rumpfmuskelkraftkennwerte der Rückenschmerzpatienten wurden in dieser Arbeit sowohl in ihren Absolutwerten (N) als auch in den auf das Körpergewicht relativierten Kennwerten (N/kg) präsentiert. Die erhobenen Daten repräsentieren eine Spezialnorm für die hier untersuchte Kohorte von Rückenschmerzpatienten (Wydra, 2004). Grundsätzlich wurden für alle Patientencuster in allen Merkmalen große Streuungen beobachtet (30–50 %), was im Einklang mit früheren Arbeiten als Ausdruck für die Diversität der

Schmerzpatienten und die resultierende Heterogenität innerhalb des Rückenschmerzpatienten interpretiert wird (Mayer et al., 1985).

Zur Einordnung der Befunde dürften körpergewichtsrelativierte Daten grundsätzlich eine bessere Vergleichbarkeit zu anderen Studien oder Datensätzen haben, weil hier die individuellen anthropometrischen Verhältnisse besser berücksichtigt werden. Denner hatte sich in seinen grundlegenden Arbeiten jedoch für den Bezug auf Teilkörpermassen entschieden, was inhaltlich vielleicht valider ist, für Studienvergleiche jedoch Einschränkungen birgt (Denner, 1997; Schifferdecker-Hoch, 1999). Im Vergleich zu Testungen einzelner Dimensionen gelten intraindividuell errechnete Quotienten aus antagonistischen Testungen (Flexion/Extension, links/rechts in der Lateralflexion und Rumpfrotation) als robustere Kennwerte, weil sie Personenmerkmale bei den Testungen besser berücksichtigen (McNeill et al., 1980). In dieser Arbeit wurden daher Quotienten anhand der körpergewichtsrelativierten Kraftkennwerte errechnet.

Besondere Beachtung verdient die Heterogenität der Patientendaten. Literaturkonform zeigte sich in den Rückenschmerzkohorten eine zum Teil erheblich größere Streuung in der Kraftentfaltung – bei jüngeren weiblichen Patienten 38 %, bei jüngeren männlichen Patienten sogar 60 % – als bei beschwerdefreien Referenzpersonen (Frauen 30 %, Männer 18 %) (Mayer et al., 1985; Schröder et al., 2014). Obwohl McNeill et al. (1980) von einer eingeschränkten Funktionskapazität bei Rückenschmerzpatienten von annähernd 60 % in allen drei Dimensionen (sagittal, frontal, axial) berichteten, schlossen sie aufgrund ihres intraindividuell ermittelten Quotienten (Flexion/Extension) darauf, dass

insbesondere die Rückenstrecker bei Patienten defizitär waren, wie dies später auch von Mayer et al. (1985) betont wurde. Aktuelle magnetresonanztomographische Befunde atrophierte und verfettete paravertebrale Rückenmuskeln könnten diesen funktionellen Befunden ein strukturelles Korrelat zuordnen (Russo et al., 2018). Hieraus wäre abzuleiten, dass die Funktionskapazität in der Rumpfflexion, -rotation und -lateralflexion weniger eingeschränkt sein sollte.

Bei den durchgeführten Messungen repräsentieren die vorliegenden Daten eine Spezialnorm für altersklassendifferenzierte Rückenschmerzpatienten und mit dem aktuellen Myoline® Testsystem, so dass die vorliegenden Daten zur klinischen Einordnung von Patientendaten im Rehabilitationsprozess als Vergleichswerte zur Verfügung stehen. Es wurde ein Verhältnis von etwa 1:2 im Quotienten aus Flexion und Extension alters- und geschlechtsübergreifend ermittelt; die Quotienten für Rotation und Lateralflexion (links/rechts) bildeten – konform mit der oben aufgestellten Hypothese – eine annähernde Symmetrie (1:1) ab. Die großen Streuungen in allen Kennwerten, inklusive der Quotienten, bildeten die individuelle Diversität und Heterogenität innerhalb des Rückenschmerzklientels ab.

#### 4.1.3 Vergleich verschiedener Subgruppen

In dieser Arbeit konnte festgestellt werden, dass Einzelpersonen aus verschiedenen Berufsgruppen gleichermaßen von Standardprogrammen profitieren und dass es nicht notwendig ist, Muskelaufbauprogramme unter Berücksichtigung der berufsbezogenen Arbeitsbelastungsmuster festzulegen. Trotz eines beobachteten breiten interindividuellen Bereichs deuten die Daten darauf hin,

dass es nach Abschluss des Standardrehabilitationsprogramms keine systematischen Unterschiede hinsichtlich des Nutzens in Abhängigkeit vom Beruf der Patienten gab. Mit einer Abnahme der ODI-Kennwerte um etwa 12 bis 15 % und einer Steigerung der Kraftleistung um bis zu 50 % war das Ausmaß der Funktionsverbesserung und des Kraftzuwachses ähnlich wie bei anderen regulären Rehabilitationsprogrammen für Rückenschmerzen (Bethge, 2016; Mohammed, 2017; Otten, 2021). In der Literatur fehlen jedoch noch weitere vergleichende Studien, in denen Patienten mit Rückenschmerzen aus verschiedenen Berufen untersucht werden, um die berufsspezifischen Bedürfnisse bei der Erstellung von Rehabilitationsprogrammen zu bewerten.

Während individuell zugeschnittene Trainingsprogramme als vorteilhaft eingestuft wurden, gibt es keine vergleichbaren internationalen Empfehlungen für Trainingsprogramme für Beschwerden im unteren Rückenbereich für Patienten aus verschiedenen Berufen (Schröder et al., 2015). Es gibt zwar Studien, in denen berufsspezifische Prävalenzen (Campos-Fumero et al., 2016; Liebers et al., 2013; Mehrdad et al., 2016) berücksichtigt wurden, dieses dann allerdings unter Miteinbeziehung von Faktoren, die Rückenschmerzen verursachen (Bovenzi et al., 2017; Esquirol et al., 2017; Wang et al., 2017). In Anbetracht der nicht vorhandenen Unterschiede der Rehabilitationsleistungen bei Patienten aus unterschiedlichen Berufen deuten unsere Daten darauf hin, dass das regelmäßig individualisierte Rehabilitationsprogramm für Schmerzen im unteren Rückenbereich aufgrund wahrscheinlicher berufsspezifischer Anforderungen nicht in seinen Kraft- und Ausdauerübungen angepasst werden muss. Obwohl nicht ausgeschlossen werden kann, dass das breite Spektrum



der interindividuell unterschiedlichen Reaktionen auf die Übungen die statistischen Werte beeinflusst hat, wird der Schluss gezogen, dass gemischte Berufe in Rehabilitations-Trainingsgruppen für Rückenschmerzen die Wirksamkeit des Rehabilitationsprogramms für keinen Einzelnen beeinträchtigen.

Dies impliziert wichtige Konsequenzen für die praktische Organisation des Rehabilitationsgruppentrainings. Da es für den Einzelnen keine Nachteile gibt, ist es gerechtfertigt, Rehabilitationsgruppen für gemischte Berufe zu fördern. Dies wiederum bedeutet in der Praxis, dass weniger unterschiedlich ausgerichtete Programme erforderlich sind und einzelne Rehabilitationsgruppen leichter gebildet werden können, da ein homogener beruflicher Hintergrund keine Voraussetzung mehr zur Teilnahme am Gruppentraining sein muss. Angesichts der sehr begrenzten Literatur auf diesem Forschungsgebiet sind weitere Untersuchungen erforderlich, um die Evidenz unserer Ergebnisse zu stärken.

## **4.2 Limitationen**

Bei der Interpretation der vorliegenden Ergebnisse sollten einige Limitationen berücksichtigt werden, wobei insbesondere die aus ethischen Gründen aufgrund der Unzumutbarkeit einer Nicht-Behandlung bei bestehenden Beschwerden fehlende Randomisierung hervorzuheben ist.

Aufgrund der freiwilligen Teilnahme über zwei Jahre waren die Ergebnisse der retrospektiven Beobachtungsstudie zusätzlich zu einer Auswahlverzerrung sicherlich durch die Tatsache begrenzt, dass es sich nicht um eine randomi-

sierte kontrollierte Studie handelte. Die Vergleichsgruppen wurden rückwirkend in Abhängigkeit vom gewählten Langzeittrainingsverhalten gebildet. Für den Zeitraum zwischen den obligatorischen Auffrischungsterminen nach ein und zwei Jahren wurden die Patienten gebeten, das empfohlene unterstützte Fitnesstraining im Fitnessstudio zu absolvieren, aber es handelte sich natürlich um eine freiwillige Aktivität (Diehl et al., 2013). Bei der retrospektiven Befragung wurde erfasst, welches Langzeittraining die Patienten praktiziert hatten. Ungenauigkeiten in den Angaben zur Regelmäßigkeit des Trainings können nicht als Verzerrung ausgeschlossen werden. Auch bei den Inhalten des empfohlenen Trainings muss konstatiert werden, dass zwar mit dem gelenkstabilisierenden Muskelaufbautraining an Krafttrainingsgeräten der Goldstandard empfohlen wurde, neuere innovative Trainingskonzepte jedoch nur ergänzend mit berücksichtigt wurden. Wenn auch die Studienlage hierzu noch nicht ausreichend erscheint, so finden sich doch positiv bewertete Ansätze (Ajimsha et al., 2022; Brandl et al., 2022; Nakamura et al., 2021), deren langfristige Wirksamkeit weiter untersucht werden sollte.

Um die Bewertungen der langfristigen Wirksamkeit durch Assessments zu untersuchen, wurde im Rahmen einer punktuellen Querschnittsstudie versucht, Referenzwerte für Kraftmessungen mit Hilfe des Messsystems Myoline® (Diers, Schlangenbad, Deutschland) zu erhalten. In den Ergebnissen zeigten sich die Teilgruppen der jungen Männer und Frauen im Vergleich zu den anderen Altersklassenstichproben deutlich kleiner, was Einfluss auf die statistischen Analysen haben könnte. Dieses Missverhältnis erklärt sich dadurch, dass die hier inkludierten Patienten während einer stationären Re-

habilitationsmaßnahme gesucht wurden, wobei jüngere Patienten in so einem Kontext im Allgemeinen deutlich weniger repräsentiert sind. Die breite Streuung der Ergebnisse begründet sich durch die bekannte individuelle Diversität und Heterogenität innerhalb des Rückenschmerzpatienten (Mayer et al., 1985).

Im Rahmen der prospektiven Beobachtungsstudie könnte aufgrund des Rekrutierungsrahmens für Patienten mit Rückenschmerzen in einer klinischen stationären Rehabilitationsumgebung eine Selektionsverzerrung die Ergebnisse eingeschränkt haben. Darüber hinaus könnte die sehr unterschiedliche interindividuelle Reaktion der Patienten auf das Rehabilitationsprogramm die statistischen Entscheidungen beeinflusst haben, wenn beispielsweise Unehrlichkeit bei der Befragung zur Trainingshäufigkeit eine falsche Gruppenzuordnung zur Folge haben würde.

### **4.3 Ausblick**

Die Ergebnisse der vorliegenden Studien geben einen Einblick in die verschiedenen Facetten der präventiven Möglichkeiten eines gezielten Muskelaufbautrainings bei muskuloskelettalen Gelenkpathologien. Bei der Beurteilung der Evidenzlage zeigen sich aber bei allen diese Arbeit betreffenden Bereichen noch große Forschungslücken, die durch weitere langfristig angelegte Arbeiten mit größeren Kollektiven geschlossen werden sollten. Wie schon unter Punkt 1.1.2 aufgeführt, fehlen in den Bereichen der hier durchgeführten Studien weitere Arbeiten über die langfristige Nachhaltigkeit von Muskelaufbauef-

fechten, die Vergleichbarkeit verschiedener Kraftmessgeräte und der zum Einordnen der Ergebnisse notwendigen Referenzwerte ebenso wie der Vergleich von Standardrehabilitationsprogrammen mit modifizierten Programmen, die die beruflichen Anforderungen verschiedener Tätigkeiten hervorheben.

## 5. Schlussfolgerungen

Die in dieser Arbeit gezeigten Ergebnisse weisen darauf hin, dass das Langzeit-Trainingsverhalten der Patienten entscheidend für die Nachhaltigkeit der vorher erzielten Krafttrainingseffekte ist. Unterwiesenes Training und Krafttraining im Fitnessstudio bringt klare Vorteile gegenüber Patienten, die nur allein zu Hause ohne Aufsicht trainieren oder möglicherweise gar keinen Sport treiben. Bei der Beurteilung der Evidenzlage zeigen sich aber noch große Forschungslücken bei der Überprüfung einer längerfristigen Nachhaltigkeit bei den erreichten Effekten durch muskuläre Stabilisierung der Gelenke. Hier sollte in weiteren Studien geklärt werden, welche praktische und klinische Relevanz die erzielten Ergebnisse haben. Es fehlen belastbare prospektive Studien, um langfristige Effekte des Muskelaufbautrainings über einen Zeitraum von 5 oder auch 10 Jahren abschließend zu beurteilen und daraus präventiv-rehabilitativ klinisch-praktische Schlussfolgerungen ziehen zu können.

Weiterhin wird deutlich, dass vergleichende Kraftmessungen aufgrund der Vielzahl der auf dem Markt befindlichen verschiedenen Krafttestgeräte streng nach definierten Standards durchgeführt werden müssen, um eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Daten überhaupt erst möglich zu machen. Mit denen in dieser Arbeit verwendeten körpergewichtsrelativierten Daten konnten trotz der Diversität und Heterogenität des Rückenschmerzklientels plausible Ergebnisse erzielt werden. Dennoch zeigt die wenige zu dem Thema vorhandene Literatur deutlich auf, wie groß die Forschungslücke bezüglich der benannten Fragen ist. Weder existieren international anerkannte Standards zur diesbezüglichen Auswertung der getesteten Kraftwerte, noch können diese

aufgrund der Vielzahl der verschiedenen Krafttestgeräte untereinander verglichen werden.

Ebenso wird aufgezeigt, dass Einzelpersonen aus verschiedenen Berufsgruppen von Standardkrafttrainingsprogrammen profitieren können, so dass es nicht unbedingt notwendig erscheint, Stärkungsprogramme unter Berücksichtigung der berufsbezogenen Arbeitsbelastungsmuster festzulegen. Dies impliziert wichtige Konsequenzen für die praktische Organisation des Rehabilitationsgruppentrainings. Da aber eine Individualisierung nicht überprüft wurde und folgerichtig nicht festgestellt wurde, ob dem Einzelnen etwaige Nachteile entstanden sind, muss die Fragestellung in großen Teilen weiter als offen und bearbeitungsbedürftig angesehen werden. Insbesondere bei Betrachtung der Streuung der Effekte muss bezweifelt werden, dass alle Rehabilitanden gleichartig profitiert haben, so dass die Frage nach Respondern vs. Non-Respondern weiter unbeantwortet bleibt. Aufgrund der aber aufgezeigten Wirksamkeit der Standardrehabilitationsprogramme erscheint es gerechtfertigt, Ausbildungsgruppen für gemischte Berufe zu fördern, was bedeutet, dass weniger unterschiedlich ausgerichtete Programme erforderlich sind. Die Größe der Trainingsgruppen hängt daher nicht von einem homogenen beruflichen Hintergrund ab, was zu praktischen Problemen bei dem Zustandekommen von vielen unterschiedlichen berufsspezifischen Rehabilitationsgruppen hätte führen können. Angesichts der begrenzten Literatur auf diesem Forschungsgebiet sind aber vergleichende Untersuchungen erforderlich, um die Evidenz unserer Ergebnisse zu stärken.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Gesamtzusammenhang des Muskelaufbaus an Krafttrainingsgeräten im Rahmen der stationären muskuloskelettalen Rehabilitation die Fragestellungen und Teilergebnisse der vorliegenden drei Arbeiten aufgrund der in diesen Bereichen sehr begrenzten Literatur neue Felder betreffen und dementsprechend neue Erkenntnisse hervorbringen. In allen drei Bereichen ist weitere Forschung notwendig, um die vorliegenden Ergebnisse zu überprüfen und dem hohen Stellenwert des gelenkstabilisierenden Muskelaufbaus in der medizinischen muskuloskelettalen Rehabilitation Rechnung zu tragen.

## 6. Literaturverzeichnis

- Abbott, J. H., Chapple, C. M., Fitzgerald, G. K., Fritz, J. M., Childs, J. D., Harcombe, H. & Stout, K. (2015). The Incremental Effects of Manual Therapy or Booster Sessions in Addition to Exercise Therapy for Knee Osteoarthritis: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 45(12), 975–983.
- Ajimsha, M. S., Shenoy, P. D., Surendran, P. J., Jacob, P. & Bilal, M. J. (2022). Evidence of in-vivo myofascial force transfer in humans; a systematic scoping review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. (Accepted 15. May 2022).
- Alefi, M., Sadeghi Yarandi, M. & Karimi, A. (2020). Modeling of Occupational Risk Factors in the Development of Musculoskeletal Disorders in Nurses. *Archives of Occupational Health*, 4(1), 474–479.
- Alzahrani, H., Mackey, M., Stamatakis, E., Zadro, J. R. & Shirley, D. (2019). The association between physical activity and low back pain: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Scientific Reports*, 9(1), 8244.
- Barisch-Fritz, B., & Volk, C. (2016). *Übersicht zum Thema Interdisziplinarität und Sportwissenschaft*. Zephir, 4.
- Bartholdy, C., Juhl, C., Christensen, R., Lund, H., Zhang, W. & Henriksen, M. (2017). The role of muscle strengthening in exercise therapy for knee osteoarthritis: A systematic review and meta-regression analysis of randomized trials. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*, 47(1), 9–21.
- Behl-Schön, S., Deparade, D., Kuhn, D., Moriße, J., Pietsch, A. & Wegner, A. (2013). Sporttherapie: Die Medizinische Trainingstherapie (MTT). In BGW (Hrsg.), *Das BGW-Rückenkolleg: Rückenbeschwerden im Berufsalltag entgegenwirken - mit nachhaltiger Prävention* (S. 22–25). Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege.
- Bennell, K. L., Dobson, F. & Hinman, R. S. (2014). Exercise in osteoarthritis: moving from prescription to adherence. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 28(1), 93-117.
- Bennell, K. L., Campbell, P. K., Egerton, T., Metcalf, B., Kasza, J., Forbes, A., Bills, C., Gale, J., Harris, A., Kolt, G. S, Bunker, S. J., Hunter, D. J., Brand, C. A. & Hinman, R. S. (2017). Telephone Coaching to Enhance a Home-Based Physical Activity Program for Knee Osteoarthritis: A Randomized Clinical Trial. *Arthritis Care & Research*, 69(1), 84–94.
- Berry, D. B., Padwal, J., Johnson, S., Englund, E. K., Ward, S. R. & Shahidi, B. (2019). The effect of high-intensity resistance exercise on lumbar musculature in patients with low back pain: a preliminary study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(1), 290.



- Bethge, M., & Neuderth, S. (2016). Medizinisch-berufliche Maßnahmen. In *Psychologie in der medizinischen Rehabilitation* (pp. 149-159). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Błaszczuk, A., Zygmańska-Jabłońska, M., Wegner-Czerniak, K. & Ogurkowska, M. B. (2020). Evaluating Progressive Overload Changes of the Musculoskeletal System in Automobile Industry Workers. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(4), 2579–2586.
- Bovenzi, M., Schust, M. & Mauro, M. (2017). An overview of low back pain and occupational exposures to whole-body vibration and mechanical shocks. *La Medicina del Lavoro, Work, Environment and Health*, 108(6), 419.
- Brand, A., Allen, L., Altman, M., Hlava, M., Scott, J. (2015). Beyond authorship: attribution, contribution, collaboration, and credit. *Learned Publishing*, 28(2), 151-155.
- Brandl, A., Bartsch, K., James, H., Miller, M. E. & Schleip, R. (2022). Influence of Roling Structural Integration on Active Range of Motion: A Retrospective Cohort Study. *Journal of Clinical Medicine*, 11(19), 5878.
- Briest, J. & Bethge, M. (2016). Intensivierte medizinisch-beruflich orientierte Rehabilitationsnachsorge: Langfristige Ergebnisse der randomisiert-kontrollierten Multicenter-Studie. *Die Rehabilitation*, 55(02), 108–114.
- Cady, L. D., Bischoff, D. P., O'Connel, E. R., Thomas, P. C. & Allan, J. H. (1979). Strength fitness and subsequent back injuries in firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 21(4), 269–272.
- Cady, L. D., Thomas, P. C. & Karwasky, R. J. (1985). Program for Increasing Health and Physical Fitness of Firefighters. *Journal of Occupational Medicine*, 27(2), 110–114.
- Campos-Fumero, A., Delclos, G. L., Douphrate, D. I., Felknor, S. A., Vargas-Prada, S., Serra, C., Coggon, D. & de Porras, D. G. R. (2017). Low back pain among office workers in three Spanish-speaking countries: findings from the CUPID study. *Injury Prevention*, 23(3), 158–164.
- Carl, K., Kayser, D., Mechling, H., & Preising, W. (1984). Begriffsvielfalt und Systematisierungsproblematik von Sport und Sportwissenschaft. *Handbuch Sport*, 1, 3-20.
- Carmona-Terés, V., Moix-Queralto, J., Pujol-Ribera, E., Lumillo-Gutierrez, I., Mas, X., Batlle-Gualda, E., Gobbo-Montoya, M., Jodar-Fernandez, L. & Berenguera, A. (2017). Understanding knee osteoarthritis from the patients' perspective: a qualitative study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 18(1), 225.
- Denner, A. (1997). Das Konzept der Referenzwerte nach SOLBERG. In *Muskuläre Profile der Wirbelsäule* (S. 183–184). Springer.

- de Rooij, M., van der Leeden, M. & Cheung, J. (2017). Efficacy of Tailored Exercise Therapy on Physical Functioning in Patients With Knee Osteoarthritis and Comorbidity: A Randomized Controlled Trial. *Arthritis Care & Research*, 69(6), 807–816.
- Diehl, P., Gerdesmeyer, L., Schauwecker, J., Kreuz, P. C., Gollwitzer, H. & Tischer, T. (2013). Konservative Therapie der Gonarthrose. *Der Orthopäde*, 42(2), 125–139.
- Dunlevy, C., MacLellan, G. A., O'Malley, E., Blake, C., Breen, C., Gaynor, K., Wallace, N., Yoder, R., Casey, D., Mehegan, J. & Fullen, B. M. (2019). Does changing weight change pain? Retrospective data analysis from a national multidisciplinary weight management service. *European Journal of Pain*, 23(8), 1403–1415.
- Deutsche Vereinigung für Sportwissenschaft. (1994, 04. Februar). *Memorandum zur Förderung der Sportwissenschaft in der Bundesrepublik Deutschland*. <https://www.sportwissenschaft.de/fileadmin/pdf/download/memo.pdf>
- Deutsche Vereinigung für Sportwissenschaft. (2005, September/Okttober). *Memorandum zur Entwicklung der Sportwissenschaft*. [https://www.sportwissenschaft.de/fileadmin/pdf/download/Memorandum\\_druck.pdf](https://www.sportwissenschaft.de/fileadmin/pdf/download/Memorandum_druck.pdf)
- Deutsche Vereinigung für Sportwissenschaft. (2017, September). *Memorandum Sportwissenschaft*. [https://www.sportwissenschaft.de/fileadmin/pdf/download/Memorandum-Sportwissenschaft\\_2017\\_web.pdf](https://www.sportwissenschaft.de/fileadmin/pdf/download/Memorandum-Sportwissenschaft_2017_web.pdf)
- Deutsche Vereinigung für Sportwissenschaft. (2023, 13. Januar). *Positionspapiere & Memoranden der DVS*. <https://www.sportwissenschaft.de/publikationen/dvs-papiere/>
- Esquirol, Y., Niezborala, M., Visentin, M., Leguevel, A., Gonzalez, I. & Marquié, J. C. (2017). Contribution of occupational factors to the incidence and persistence of chronic low back pain among workers: results from the longitudinal VISAT study. *Occupational and Environmental Medicine*, 74(4), 243–251.
- Ferguson, S. A., Merryweather, A., Thiese, M. S., Hegmann, K. T., Lu, M. L., Kapellusch, J. M. & Marras, W. S. (2019). Prevalence of low back pain, seeking medical care, and lost time due to low back pain among manual material handling workers in the United States. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(1), 243.
- Finger, J., Gößwald, A., Härtel, S., Müters, S., Krug, S., Hölling, H., Kuhnert, R., & Bös, K. (2013). Messung der kardiorespiratorischen Fitness in der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsblatt*, 56, 885–893.

- Flint, M. M. (1958). Effect of increasing back and abdominal muscle strength on low back pain. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 29(2), 160–171.
- Fortunati, M., Rossi-Mossuti, F. & Muroi, C. (2020). Jeder hat doch Rückenschmerzen: degenerative lumbale Wirbelsäulenerkrankungen und ihre Behandlungsmöglichkeiten. *Praxis*, 109(2), 87–95.
- Foster, N. E., Anema, J. R., Cherkin, D., Chou, R., Cohen, S. P., Gross, D. P., Ferreira, P. H., Fritz, J. M., Koes, B. W., Peul, W., Turner, J. A. & Maher, C. G. (2018). Prevention and treatment of low back pain: evidence, challenges, and promising directions. *The Lancet*, 391(10137), 2368-2383.
- Fransen, M. & McConnell, S. (2009). Land-based exercise for osteoarthritis of the knee: a metaanalysis of randomized controlled trials. *The Journal of Rheumatology*, 36(6), 1109–1117.
- Fransen, M., McConnell, S. & Harmer, A. R. (2015). Exercise for osteoarthritis of the knee: a Cochrane systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 49(24), 1554–1557.
- Georg-August-Universität Göttingen. (2023, 11. April). *Sportwissenschaft mit den Schwerpunkten Prävention, Rehabilitation und psychosoziale Gesundheit (M.A.)*. <https://www.uni-goettingen.de/de/662025.html>
- Gomes-Neto, M., Lopes, J. M., Conceição, C. S., Araujo, A., Brasileiro, A., Sousa, C., Carvalho, V. O. & Arcanjo, F. L. (2017). Stabilization exercise compared to general exercises or manual therapy for the management of low back pain: A systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*, 23, 136–142.
- Hägele, W. (1996). *Reflexionen zur Sportwissenschaft*. München: Homo Ludens.
- Hodges, P. W. & Danneels, L. (2019). Changes in Structure and Function of the Back Muscles in Low Back Pain: Different Time Points, Observations, and Mechanisms. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 49(6), 464–476.
- Hollmann, W., Rost, R., Liesen, H., Dufaux, B., Heck, H. & Mader, A. (1981). Assessment of Different Forms of Physical Activity with Respect to Preventive and Rehabilitative Cardiology. *International Journal of Sports Medicine*, 02(2), 67–80.
- Hottenrott, K., Baldus, A., Braumann, K. M., Hartmann-Tews, I., Holzweg, M., Kuhlmann, D., Seyfarth, A., Strauß, B., Sygusch, R., & Vogt, L. (2017). Memorandum Sportwissenschaft. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 47(4), 287–293.

- Hug, F. & Tucker, K. (2017). Muscle Coordination and the Development of Musculoskeletal Disorders. *Exercise and Sport Science Reviews*, 45(4), 201–208.
- Janda, V., Frank, C. & Liebenson, C. (1996). Evaluation of muscular imbalance. In C. Liebenson (Hrsg.), *Rehabilitation of the Spine: A Practitioner's Manual* (S. 97–113). Williams & Wilkins.
- Jensen, L. K., Mikkelsen, S., Loft, I. P., & Eenberg, W. (2000). Work-Related Knee Disorders in Floor Layers and Carpenters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 42(8), 835–842.
- Jensen, L. K., & Kofoed, L. B. (2002). Musculoskeletal Disorders Among Floor Layers: Is Prevention Possible? *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 17(11), 797–806.
- Juhl, C., Christensen, R., Roos, E. M., Zhang, W., & Lund, H. (2014). Impact of exercise type and dose on pain and disability in knee osteoarthritis: a systematic review and meta-regression analysis of randomized controlled trials. *Arthritis & rheumatology*, 66(3), 622-636.
- Jung, S. H. & Park, D. S. (2020). Reliability and Validity of the Measurement of Pelvic Movement in Low Back Pain Patients using Cushion Sensor in Sitting Position. *Journal of The Korean Society of Physical Medicine*, 15(2), 83–91.
- Kim, L. H., Vail, D., Azad, T. D., Bentley, J. P., Zhang, Y., Ho, A. L., Fatemi, P., Feng, A., Varshneya, K., Desai, M., Veeravagu, A. & Ratliff, J. K. (2019). Expenditures and Health Care Utilization Among Adults With Newly Diagnosed Low Back and Lower Extremity Pain. *JAMA Network Open*, 2(5), e193676.
- Kirchhoff, D., Kopf, S. & Böckelmann, I. (2016). Krafttrainingstherapie bei männlichen Polizeibeamten mit chronischen lumbalen Rückenschmerzen. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 66(1), 10–19.
- Kivimäki, J., Riihimäki, H. & Hänninen, K. (1992). Knee disorders in carpet and floor layers and painters. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 18(5), 310–316.
- Koesling, D., Kieselbach, K. & Bozzaro, C. (2019). Chronischer Schmerz und Gesellschaft - Soziologische Analyse einer komplexen Verschränkung. *Der Schmerz*, 33(3), 220–225.
- Krauß, I. (2016). Sport- und Bewegungstherapie bei Gon- und Coxarthrose. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 67(11), 276–281.
- Krauß, I. (2017). Ein Plädoyer für überzeugende Empfehlungen zur Sport- und Bewegungstherapie bei Arthrose. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 68(10), 217–218.

- Krüger, M., Emrich, E. (2013). Die Wissenschaft vom Sport. In: Güllich, A., Krüger, M. (Hrsg.) *Sport. Bachelor*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- Kulig, K., Andrews, J. G. & Hay, J. G. (1984). Human Strength Curves. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 12(1), 417–466.
- Liebers, F., Brendler, C. & Latza, U. (2013). Alters- und berufsgruppenabhängige Unterschiede in der Arbeitsunfähigkeit durch häufige Muskel-Skelett-Erkrankungen. *Bundesgesundheitsblatt*, 56(3), 367–380.
- Lohss, R., Geissler, N., Thiel, M., Goehle, M., Egen, C. & Gutenbrunner, C. (2017). Isokinetische Kraftmessung in Abhängigkeit von der attestierten Arbeitsunfähigkeit orthopädischer Rehabilitanden mit degenerativen Kniegelenkerkrankungen. *Physikalische Medizin - Rehabilitationsmedizin - Kurortmedizin*, 27(03), 141–148.
- Mannion, A. F., Junge, A., Fairbank, J. C. T., Dvorak J. & Grob, D. (2006). Development of a German version of the Oswestry Disability Index. Part 1: cross-cultural adaptation, reliability, and validity. *European Spine Journal*, 15(1), 55–65.
- Matheson, L. N., Matheson, M. L. & Grant, J. J. (1993). Development of a measure of perceived functional ability. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 3(1), 15–30.
- Mayer, T. G., Smith, S. S., Keeley, J. & Mooney, V. (1985). Quantification of lumbar function. Part 2: Sagittal plain trunk strength in chronic low back pain patients. *Spine*, 10(8), 765–772.
- McNeill, T., Warwick, D. & Andersson, G. (1980). Trunk Strengths in Attempted Flexion, Extension, and Lateral Bending in Healthy Subjects and Patients with Low-Back Disorders. *Spine*, 5(6), 529–538.
- Mehrdad, R., Shams-Hosseini, N. S., Aghdaei, S. & Yousefian, M. (2016). Prevalence of Low Back Pain in Health Care Workers and Comparison with Other Occupational Categories in Iran: A Systematic Review. *Iranian Journal of Medical Sciences*, 41(6), 467.
- Miller, L. E. & Block, J. E. (2013). An 8-week multimodal treatment program improves symptoms of knee osteoarthritis: a real-world multicenter experience. *Journal of pragmatic and observational research*, 4, 39–44.
- Mohammed, M. & Najji, F. L. (2017). Benefits of exercise training for computer-based staff: a meta analyses. *International Journal of Kinesiology and Sport Science*, 5(2), 16–23.
- Monnier, A., Larsson, H., Nero, H., Djupsjöbacka, M. & Äng, B. O. (2019). A longitudinal observational study of back pain incidence, risk factors and occupational physical activity in Swedish marine trainees. *BMJ Open* 9(5), e025150.

- Morgan, F. P. & King, T. (1957). Primary instability of lumbar vertebrae as a common cause of low back pain. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 39-B(1), 6–22.
- Mulhern, B., Shah, K. K., Bas Janssen, M. F. & Longworth, L. (2016). Valuing Health Using Time Trade-Off and Discrete Choice Experiment Methods: Does Dimension Order Impact on Health State Values? *Value in Health*, 19(2), 123–296.
- Müller, G. & Hille, E. (1996). Muskuläre Dysbalancen im Rumpf - Möglichkeiten und Grenzen der klinischen und maschinellen Diagnostik in der Sportmedizin. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 47(7/8, 9), 431–434, 483–487.
- Müller, G. (1999). Zur Evaluation von Funktionsstörungen an der Wirbelsäule. Strukturdiagnostik versus Funktionsdiagnostik. *Manuelle Medizin – European Journal of Manual Medicine*, 37(1), 18–25.
- Nakamura, M., Konrad, A., Kiyono, R., Sato, S., Yahata, K., Yoshida, R., Yasaka, K., Murakami, Y., Sanuki, F. & Wilke, J. (2021). Local and non-local effects of foam rolling on passive soft tissue properties and spinal excitability. *Frontiers in Physiology*, 12:702042.
- NISO CRediT Working Group (2022): *ANSI/NISO Z39. 104-2022, CRediT, Contributor Roles Taxonomy*. [S.I.]. Baltimore, MD: National Information Standards Organization.
- Olafsson, G., Jonsson, E., Fritzell, P., Hägg, O. & Borgström, F. (2018). Cost of low back pain: results from a national register study in Sweden. *European Spine Journal*, 27(5), 2875–2881.
- Oratsch, C., Pipam, W., Köstenberger, M., Apich, G. & Likar, R. (2019). Behandlung bei chronischen Rückenschmerzen? Aktive multimodale, interdisziplinäre Schmerztherapie vs. physiotherapeutisch-physikalische Therapie bei chronischen Rückenschmerzen. *Der Schmerz*, 33(4), 337–346.
- Otten, A. & Schroeder, J. (2021). Effekte akzentuierter sensomotorischer Reize bei chronischen Rückenschmerzpatienten – eine kontrollierte Pilotstudie. *Physikalische Medizin - Rehabilitationsmedizin - Kurortmedizin*, 31, 1–9.
- Owen, P. J., Miller, C. T., Mundell, N. L., Verswijveren, S. J., Tagliaferri, S. D., Brisby, H., Bowe, S. J. & Belavy, D. L. (2019). Which specific modes of exercise training are most effective for treating low back pain? Network meta-analysis. *Britisch Journal of Sports Medicine*, 54(21), 1279–1287.

- Pietsch, A., Schröder, J., Dalichau, S., Reer, R., Engel, D., Wahl-Wachendorf, A., Solbach, T., Edler, C., & Riepenhof, H. (2022). Acute effects of an exercise based multimodal in-patient rehabilitation protocol in male knee osteoarthritis patients and the two years follow-up sustainability. *WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*, accepted 20.09.2022.
- Pietsch, A., Schröder, J., Hollander, K. & Riepenhof, H. (2020). Effekte und Nachhaltigkeit des Kniekollegs. *Der Orthopäde*, 49(5), 443–448.
- Pietsch, A., Schröder, J., Reer, R., Edler, C., Kutasow, A., & Riepenhof, H. (2021a). Referenzwerte in der isometrischen Kraftdiagnostik. *Der Orthopäde*, 50(11), 946-954.
- Pietsch, A., Schroeder, J., Reer, R., Edler, C., & Riepenhof, H. (2021b). Acute Effects of a Combined Strength and Endurance Training Rehabilitation Protocol for Patients in Different Professions with Back Pain. *Physikalische Medizin - Rehabilitationsmedizin - Kurortmedizin*, 31(06), 386-392.
- Ruhr Universität Bochum. (2023, 11. April). *Prävention und Rehabilitation durch Sport*. <https://studium.ruhr-uni-bochum.de/de/praevention-und-rehabilitation-durch-sport>
- Russo, M., Deckers, K., Eldabe, S., Kiesel, K., Gilligan, C., Vieceli, J. & Crosby, P. (2018). Muscle Control and Non-specific Chronic Low Back Pain. *Neuromodulation* 21(1), 1–9.
- Rytter, S., Jensen, L. K. & Bonde, J. P. (2007). Knee complaints and consequences on work status; a 10-year follow-up survey among floor layers and graphic designers. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 8(1), 93.
- Schifferdecker-Hoch, F. & Denner, A. (1999). Mobilitäts-, Muskelkraft- und Muskelleistungsfähigkeitsparameter der Wirbelsäule. Alters- und geschlechtsspezifische Referenzdaten. *Manuelle Medizin – European Journal of Manual Medicine*, 37, 30–33.
- Schröder, J., Braumann, K. M. & Reer, R. (2014). Wirbelsäulenform- und Funktionsprofile. Referenzwerte für die klinische Nutzung bei Rückenschmerzsyndromen. *Der Orthopäde*, 43(9), 841–849.
- Schröder, J., Otte, A., Reer, R. & Braumann, K. M. (2015). Rückenbeschwerden und Übungstherapie – eine Übersicht zur Evidenz in der Allgemeinbevölkerung und Besonderheiten für Athleten. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 66(10), 257–262.
- Shiri, R., Falah-Hassani, K., Heliövaara, M., Solovieva, S., Amiri, S., Lallukka, T., Burdorf, A., Husgafvel-Pursiainen, K. & Viikari-Juntura, E. (2019). Risk factors for low back pain: a population based longitudinal study. *Arthritis Care & Research*, 71(2), 290–299.

- Skou, S. T., Rasmussen, S., Laursen, M. B., Rathleff, M. S., Arendt-Nielsen, L., Simonsen, O. & Roos, E. M. (2015). The efficacy of 12 weeks non-surgical treatment for patients not eligible for total knee replacement: a randomized controlled trial with 1-year follow-up. *Osteoarthritis and Cartilage*, 23(9), 1465–1475.
- Sowah, D., Boyko, R., Antle, D., Miller, L., Zakhary, M. & Straube, S. (2018). Occupational interventions for the prevention of back pain: Overview of systematic reviews. *Journal of Safety Research*, 66, 39–59.
- Straube, S., Harden, M., Schroeder, H., Arendacka, B., Fan, X., Moore, R. A. & Friede, T. (2016). Back schools for the treatment of chronic low back pain: possibility of benefit but no convincing evidence after 47 years of research-systematic review and meta-analysis. *Pain*, 157(10), 2160–2172.
- Stucki, G., Meier, D. & Stucki, S. (1996). Evaluation einer deutschen Version des WOMAC (Western Ontario und McMaster Universities) Arthroseindex. *Zeitschrift für Rheumatologie*, 55(1), 40–49.
- Thun, M., Tanaka, S., Smith, A. B., Halperin, W. E., Lee, S. T., Luggen, M. E. & Hess, E. V. (1987). Morbidity from repetitive knee trauma in carpet and floor layers. *Occupational and Environmental Medicine*, 44(9), 611–620.
- Universität Leipzig. (2023, 12. April). *Sportwissenschaft: Rehabilitation und Prävention M. SC*. <https://www.spowi.uni-leipzig.de/studium/vor-dem-studium/studienangebot/sportwissenschaft-ba/course/show/sportwissenschaft-rehabilitation-und-praevention-m-sc>
- Urits, I., Burshtein, A., Sharma, M., Testa, L., Gold, P. A., Orhurhu, V., Viswanath, O., Jones, M. R., Sidransky, M. A., Spektor, B. & Kaye, A. D. (2019). Low Back Pain, a Comprehensive Review: Pathophysiology, Diagnosis, and Treatment. *Current Pain and Headache Reports*, 23(3), 23.
- Vanti, C., Andreatta, S., Borghi, S., Guccione, A. A., Pillastrini, P. & Bertozzi, L. (2019). The effectiveness of walking versus exercise on pain and function in chronic low back pain: a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Disability and Rehabilitation*, 41(6), 622–632.
- Verbrugghe, J., Agten, A., Stevens, S., Hansen, D., Demoulin, C., Vandenabeele, F. & Timmermans, A. (2019). Exercise Intensity Matters in Chronic Nonspecific Low Back Pain Rehabilitation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(12), 2434–2442.
- Wang, M., Yu, J., Liu, N., Liu, Z., Wie, X., Yan, F. & Yu, S. (2017). Low back pain among taxi drivers: a cross-sectional study. *Occupational Medicine*, 67(4), 290–295.
- Willimczik, K. (2001). *Sportwissenschaft interdisziplinär, Band 1: Geschichte, Struktur und Gegenstand der Sportwissenschaft*. Hamburg, Czwalina.



Willimczik, K. (2011). *Sportwissenschaft interdisziplinär, Band 4: Die sportwissenschaftlichen Teildisziplinen in ihrer Stellung zur Sportwissenschaft*. Hamburg, Czwalina.

Wydra, G. (2004). Zur Problematik von Normen in der Bewegungstherapie. *Zeitschrift für Physiotherapeuten*, 56(12), 2280–2289.

## **Anhang**

### **Anhang A: Danksagung**

An erster Stelle gilt mein ausdrücklicher Dank Herrn Prof. em. Dr. med. Klaus-Michael Braumann und Herrn Prof. Dr. med. Rüdiger Reer, die mir in ihrem Institut die Möglichkeit gaben, die Forschung für die vorliegende Doktorarbeit durchführen zu können und die mir immer mit einer offenen Tür und vielen Ratschlägen zur Seite standen, so dass ich meine Doktorarbeit in einer konstruktiven und freundlichen Arbeitsatmosphäre schreiben konnte.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Dr. med. Riepenhof bedanken, der mich während der gesamten Zeit der Planung und Bearbeitung meines Promotionsvorhabens uneingeschränkt und zu jeder Zeit unterstützte.

Ganz besonders möchte ich auch dem wissenschaftlichen Mitarbeiter des Instituts für Bewegungswissenschaften (Arbeitsbereich Sport- und Bewegungsmedizin) der Universität Hamburg, Herrn Dr. phil. Jan Schröder, für den vielfältigen und interessanten wissenschaftlichen Austausch, gerade auch in Bezug auf statistische Fragen, danken.

Für die intensive Beratung und die vielen kritischen und wertvollen Anmerkungen in den einzelnen Studienprojekten danke ich Herrn Dr. med. Christopher Edler, Herrn Andrej Kutasow, Herrn Eric Hartinger sowie Frau Franziska Schombach.

Danken möchte ich an dieser Stelle auch den Personen, die mir durch mein privates Umfeld diese Promotion ermöglicht haben. Hierbei gilt der größte Dank meinem besten Freund Herrn Dr. med. Karsten Kraatz, der mir jederzeit mit viel Interesse für meine Arbeit und vielen angeregten Diskussionen über und neben der Forschung zur Seite stand. Ein ebenso großer Dank gilt meiner

Ma Frau Dr. phil. Caro Carstens für ihren unermesslichen Rückhalt und ihre niemals endende Lebensunterstützung.

## **Anhang B: Lebenslauf**

Entfällt aus datenschutzrechtlichen Gründen.

## Anhang C: Eidesstattliche Erklärung

Eidesstattliche Erklärung nach *(bitte Zutreffendes ankreuzen)*

- § 7 (4) der Promotionsordnung des Instituts für Bewegungswissenschaft der Universität Hamburg vom 18.08.2010
- § 9 (1c und 1d) der Promotionsordnung des Instituts für Psychologie der Universität Hamburg vom 20.08.2003

Hiermit erkläre ich an Eides statt,

1. dass die von mir vorgelegte Dissertation nicht Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens gewesen oder in einem solchen Verfahren als ungenügend beurteilt worden ist.
2. dass ich die von mir vorgelegte Dissertation selbst verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und keine kommerzielle Promotionsberatung in Anspruch genommen habe. Die wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen habe ich als solche kenntlich gemacht.

HAMBURG, 05.09.2023

Ort, Datum



Unterschrift

## **Anhang D: Publikation 1**

Acute effects of an exercise based multimodal in-patient rehabilitation protocol in male knee osteoarthritis patients and the two years follow-up sustainability

Aki Pietsch  
Jan Schröder  
Stefan Dalichau  
Rüdiger Reer  
Daniel Engel  
Anette Wahl-Wachendorf  
Thomas Solbach  
Christopher Edler  
Helge Riepenhof

WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation.  
2023, 75(4), 1243-1253.

Impact Factor 2.3

# Acute effects of an exercise based multimodal in-patient rehabilitation protocol in male knee osteoarthritis patients and the two years follow-up sustainability

Aki Pietsch<sup>a,b,c,\*</sup>, Jan Schroeder<sup>c</sup>, Stefan Dalichau<sup>d</sup>, Rüdiger Reer<sup>c</sup>, Daniel Engel<sup>e</sup>,  
Anette Wahl-Wachendorf<sup>e,f</sup>, Thomas Solbach<sup>e,f</sup>, Christopher Edler<sup>a,b</sup> and Helge Riepenhof<sup>a,b</sup>  
<sup>a</sup>Department of Sports and Rehabilitation Medicine, BG Trauma Hospital of Hamburg, Hamburg, Germany  
<sup>b</sup>BG Rehabilitation Center City Hamburg, Hamburg, Germany  
<sup>c</sup>Department of Sports and Exercise Medicine, Institute of Human Movement Science, University of Hamburg, Hamburg, Germany  
<sup>d</sup>BG Ambulanz Bremen, Bremen, Germany  
<sup>e</sup>German Social Accident Insurance Institution for the Building Trade (Headquarter), Berlin, Germany  
<sup>f</sup>Occupational Health Service of the German Social Accident Insurance Institution for the Building Trade, Berlin, Germany

Received 24 November 2020  
Accepted 21 September 2022

## Abstract.

**BACKGROUND:** Working with lifting and carrying heavy loads and kneeling postures with crawling, squats or heel seat position lead to progressive cartilage wear with premature degenerative changes.

**OBJECTIVE:** To investigate the effects of the exercise based multimodal ‘knee college’ and its sustainability in patients with knee osteoarthritis with data assessments before and after a starter course, before a 1-year and a 2-year follow-up refresher course in a retrospective observational study.

**METHODS:** A sample of 401 male patients (ICD10: M17 [arthrosis of knee]/ICF: s75011 [knee joint]) from the construction industries were assessed with Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), EuroQol (EQ-5D), Performance Assessment Capacity Testing (PACT), Isokinetic torque H/Q ratio and Physical Work Capacity Test (PWC). Retrospectively, after two years they were divided into three groups based on their intermediate sporting activity: gym ( $n = 194$ , age:  $50.8 \pm 7.0$ , BMI:  $28.8 \pm 4.3$ ), home training ( $n = 110$ , age:  $50.2 \pm 7.0$ , BMI:  $28.4 \pm 4.2$ ), no exercising ( $n = 97$ , age:  $48.2 \pm 7.0$ , BMI:  $29.2 \pm 4.6$ ).

**RESULTS:** Patients did not differ significantly in their demographic and anthropometric data prior to the rehab program. Significant interaction effects indicated group-dependent differing sustainability effects for the 2-year follow-up (all outcomes:  $p < 0.001$ , except for H/Q ratio:  $p = 0.03$ ). Group-wise analyses revealed significant acute improvements (after 3-week in-patient starter rehab program:  $p < 0.05$ ) for all groups in almost all outcomes (except the ‘no sport’ group, H/Q ratio  $p = 0.08$ ). These effects remained significant ( $p < 0.001$ ) only for the ‘gym’ group during the 1-year and 2-year follow-up.

**CONCLUSION:** Our data indicate that 2-year sustainability of acute rehabilitation starter effects was demonstrated especially for patients with adherence and compliance to long-term gym based exercises.

Keywords: Strength training, early intervention, prevention, workers

---

\*Address for correspondence: Aki Pietsch. E-mail: a.pietsch@bkg-hamburg.de.

## 1. Introduction

Knee osteoarthritis as chronic cartilage degeneration is characterized by a multifactorial pathogenesis. Anatomical norm variants, traumatic damage, mechanical overload and obesity in connection with metabolic disorders, genetic disposition, gender and age play a decisive role [1]. Lifting and carrying heavy loads and unfavorable or kneeling postures with crawling, squats or heel seat position lead to progressive cartilage wear with premature degenerative changes [2–4]. For example, floor layers, bricklayers, painters or construction workers with heavy physical work and repetitive knee-bending, kneeling or squatting have a history of occupational exposure which is far more prevalent than in the general population [5, 6]. Thus, workers in the trades and construction industry with mechanically overloaded jobs are particularly predisposed for osteoarthritis [7].

Conservative treatment options are not only aimed at relieving pain, but also at reducing functional limitations and increasing the quality of life in private and professional contexts. Here, muscle building to stabilize the knee joint is considered the gold standard in conservative therapy [8–10], which also helps to postpone operations and slow down the progression of the disease [1–4, 7, 11]. However, there are few best practice recommendations [12, 13].

In the environment of our three rehabilitation clinics we constituted an exercise based multimodal therapeutic setting for the rehabilitation of knee osteoarthritis patients from the construction industry called ‘knee college’. In a multi-professional team, prevention as well as therapy with an emphasis on sustainability was built as recommended earlier.

Although there is no doubt about positive acute effects of exercising in the framework of a multimodal rehabilitation concept [11, 14], there are only few studies reporting long-term observations, but those studies did not quantify long-term sustainability effects [15–19].

Thus, this retrospective observational study aimed at evaluating the sustainability of short-term effects on functional capacity and physical performance parameters in a large sample of osteoarthritis patients over a two year follow-up monitoring. Moreover, analyses focused on probable differences in the extent of sustainability depending on the degree of compliance and adherence to self-organized systematic exercising during two years among the individuals.

Referring to our main interest, we hypothesized group-dependent differences between exercise

groups in their long-term effects throughout the one and two year follow-up period (1).

As a basic assumption, we hypothesized significant acute improvements after the 3-weeks in-patient starting rehabilitation program for each of the latter retrospectively allocated subsamples (2).

In detail, we hypothesized persistent positive effects all over the complete one and two years follow-up period for the subsample with the continuous adherence to systematic self-organized exercising in a gym (3).

Finally, we hypothesized a ranking of sustainability results with the best outcomes for the self-organized gym exercising, the second best results for the home-training group, and the worst results for the subsample doing no form of self-organized exercising (4).

## 2. Methods

### 2.1. Design

In a retrospective observational study, clinical outcomes of diagnosed knee osteoarthritis patients were monitored during their rehabilitation. Starting with base-line measures (t1), data were reassessed directly after a three week in-patient rehabilitation protocol (t2), and then again on the first day in follow-up assessments after one (t3) and two years (t4). Depending on their questioned and self-reported adherence and compliance behavior to recommended long-term exercise activities subsequently to the in-patient rehabilitation, participants were allocated to one of three subsamples, retrospectively. After the allocation, the data sets were completely anonymized. Thus, the analyses were blinded for the statistical operator. Decoding would be possible exclusively for the head of the investigators’ team.

### 2.2. Subjects

Between 2011 and 2020, gonarthrosis patients (ICD10: M17 [arthrosis of knee] / ICF: s75011 [knee joint]) from the construction industries who were recruited by the Occupational Health Service of the German Social Accident Insurance Institution for the building trade as part of preventive medical examinations were monitored during their rehabilitation process. Only male patients being able to speak and understand the German language older than 18 years of age were included into the study, when they



completed all components during a two year follow-up period consisting of in-patient rehabilitation and refresher courses including the respective measurements.

A total sample of 401 patients at the age of about 50 years ( $\pm 7.1$ ) met the inclusion criteria. According to their questioned and self-reported exercise habits during the past two years, 194 patients were assigned to group 1 (regular gym exercising = gym), 110 participants were assigned to group 2 (regular substitution home training = home), and 97 persons confirming no exercises at all were assigned to group 3 (no systematic exercising = no sport) (Table 1).

### 2.3. Rehabilitation program – the knee college

Based on a biopsychosocial approach, the ‘knee college’ combines several components (medical training therapy/strength training, physiotherapy, massages, electricity and heat treatments, kinesiologic training to initiate back-friendly movement sequences and to support and expand the patient’s movement options during work, psychological health training in the areas of stress, pain, activity regulation, self-awareness and transfer assurance, nutritional advice in connection with shopping and cooking training, cardiovascular training, patient schooling) in a standardized 3-week intensive care program with a daily schedule from 8.30 a.m. to 3.30 p.m. [20, 21]. The respective rehab program components were conducted by a multi-professional team including physiotherapists and sports scientists, clinically experienced psychologists and dietary experts (nutritionists). Figure 1 illustrates the concept of the ‘knee college’ with the 3-week starter and the latter 1-week refresher courses described earlier [7].

The participants were asked to practice (at least 1 to 2 sessions per week) the specific instructed knee exercises in the environment of a gym near their homes during the 12 months periods between the starter

and the refresher courses. Alternatively, if this was not possible due to the patients’ personal situation, the participants were asked to adhere to an individually designed home training program (at least 1 to 2 sessions per week), which was instructed and discussed during the initial 3-week ‘knee college’. For detailed information concerning the exercises including volumes and intensity, cf. Table 2 and Fig. 1. In order to check their adherence to therapy, and to motivate the participants for maintaining their compliance, patients were contacted by phone during the first year after 2 weeks, and then again after 2, 5 and 9 months. These phone calls took place after 2, 4, 7 and 10 months during the second follow-up year [7, 16]. Gym as well as home training exercises were instructed during the starter course. A further supervision at the gym was questioned, but we had no opportunity to control the real life exercise conditions. Moreover, we had to trust in the correctness of the questioned regular compliance and adherence to the respective exercising, which was questioned following our standard operation procedures at the beginning of the refresher courses before the reassessment of our outcomes (Fig. 2), hoping that the repeated phone calls helped to maintain training compliance.

### 2.4. Assessment tools

#### 2.4.1. Isokinetic force performance

Maximum isokinetic torque [Nm] was assessed using a computer-controlled dynamometer (Biodex System 4 Pro, Proxomed, Alzenau, Germany) during seated dynamic (concentric-concentric) contractions (fully extended to 90° flexed knee angle) for the isolated knee extension and flexion during a 15 repetitions protocol at a prefixed velocity of 150°/s [22]. The ratio from the hamstring and quadriceps muscles’ [%] performance was calculated (H/Q ratio) and served as an outcome for statistical analyses.

Table 1  
Sample characteristics (mean  $\pm$  SD)

Groups	n [counts]	Males [%]	Age [y]	Height [cm]	Weight [kg]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]
Gr.1 (gym)	194	100	50.8	180.0	93.1	28.8
SD			7.0	6.8	14.4	4.3
Gr.2 (home)	110	100	50.2	180.3	92.5	28.4
SD			7.0	6.7	14.6	4.2
Gr.3 (no sport)	97	100	48.2 <sup>#</sup>	178.8	93.5	29.2
SD			7.0	6.6	15.2	4.6

<sup>#</sup>Gr. 3 (no sport) was statistically significant younger than Gr. 1 (gym).



Fig. 1. Training examples: Isokinetic strength training (a), bicycle cardio training (b), knee extension training (c), leg press training (d).

Table 2  
Cardio training and machine based or home based strengthening exercises

	Name (short-cut)	Intensity (RPE)	Duration (min)	Sets x reps	Velocity
Cardio (alternative devices)	Bicycle ergo	11	10		80-90 rpm
	Cross-trainer	11	10		70-80 spm
	Tread mill (run)	11	10		7-8 km/h
Strengthening machine based (gym: examples)	Leg press	13		3 x 8	Slow-dynamic
	Knee extension	13		3 x 8	Slow-dynamic
	Leg curl	13		3 x 8	Slow-dynamic
	Adductor strengthening	13		2 x 10	Slow-dynamic
Strengthening body weight (home: examples)	Squats	13		3 x 15	Slow-dynamic
	Lunge (left/right)	13		2 x 10	Slow-dynamic
	Calve raise	13		2 x 15	Slow-dynamic
	PLANK	13	20 sec	2	Static
	Side-plank (left/right)	13	2 x 15 sec	2	Static

### 2.5. PWC (Physical Working Capacity)

The patients' endurance performance was assessed using a bicycle ergometry device (Kardiomed b-

cycle, Proxomed, Alzenau, Germany). A Physical Working Capacity (PWC) test protocol (step test:  $\Delta+25$  watt every 2 min) was conducted in order to determine the mechanical output at a pre-fixed heart

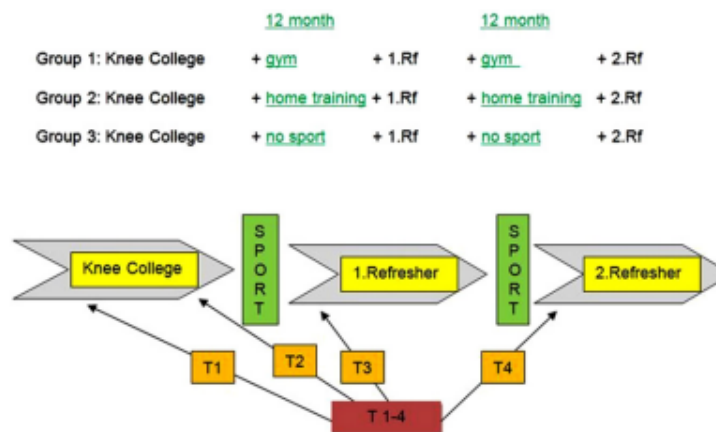


Fig. 2. Course of the 2-year prevention measure. Measurement times (before (T1) and after (T2) a starter course, before a 1-year (T3) and a 2-year (T4) follow-up refresher course) with training adherence of the individual groups (group 1: gym, group 2: home training, group 3: no sport).

rate threshold of 130 bpm [23]. The resulting performance [watt] served as an outcome for the statistical analyses.

#### 2.6. WOMAC (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index)

The WOMAC questionnaire with its three subscales for pain (A), stiffness (B), and physical impairment (C) served as a standard rating scale for the specific assessment of functional limitations due to osteoarthritis [24].

#### 2.7. EuroQol

The EuroQol questionnaire was used to determine life quality and consisted of a visual analogue scale (EQ-VAS: subjective health self-rating from 1 to 100 pts) and a descriptive system (EQ-5D-3L: rating of the functional level for mobility, self-sufficiency, usual activity, pain/discomfort and anxiety/depression with negative values indicating a poor health state and a perfect health coded as "1") described earlier [25].

#### 2.8. PACT-TEST (Performance Assessment and Capacity Testing)

Patients' perception of their ability to perform daily activities was assessed using the performance assessment and capacity test (PACT). Perceived functional ability values range from 0 to 200 points. Participants

with a score < 100 were classified as minimally fit to work [26].

#### 2.9. Statistical methods

Data were described as mean and standard deviation. A 2-way ANOVA was calculated to analyze the interaction effect between the factors 'group' and 'time' (3 × 4). In the case of a significant Mauchly test, the Greenhouse-Geisser corrected p-values for the time and interaction effect were accepted. In the case of a significant main effect, a post-hoc multiple testing procedure (Bonferroni) was conducted to identify significant differences between groups or time points. Additionally, group-wise paired t-tests and the effect size (Cohen's d) were applied in order to compare baseline values (t1) with each of the later time points (t2, t3, and t4). For additional cross-sectional comparisons between groups at any single time point, a 1-way ANOVA with either post-hoc Bonferroni procedures was calculated (SPSS 22, IBM-SPSS, Armonk, VA, USA). Significance was accepted for  $p \leq 0.05$ . Cohen's  $d \geq 0.8$  described a strong effect;  $d \geq 0.5$  meant a moderate,  $d \geq 0.2$  a small and  $d < 0.2$  a trivial effect size.

### 3. Results

Our total sample consisted of 401 male participants at the age of 50 years ( $\pm 7.1$ ). Men showed a body height of 179.8 cm ( $\pm 6.7$ ), and a



body weight of 93.0 kg ( $\pm 14.6$ ) meaning an overweight to obese body constitution (body mass index  $28.8 \pm 4.3 \text{ kg/m}^2$ ). The subsamples did not differ significantly in their characteristics, except in their age ( $F = 4.346, p = 0.014$ ). The 'no sport' group was a little younger ( $\Delta 2.6 \text{ y}, p = 0.01$ ) than the 'gym' group (Table 1).

Referring to our primary interest and our first hypothesis, we conducted a 2-way ANOVA in order to identify significant 'group  $\times$  time' interactions. Actually, we found differences between group-dependent alterations over the time course of the two years follow-up for all outcomes by means of significant interaction effects ( $p < 0.001$ ), except for the H/Q ratio ( $p = 0.03$ ) (Table 3).

All outcome parameters showed a significant global time effect ( $p < 0.001$ ) demonstrating changes from baseline (t1) to the later time points (t2, t3, t4). Those group-independent global improvements at t2 persisted constantly till t4 only for the physical endurance performance (PWC) outcome (indicated by # in Table 3).

Apart from the global main effect analyses, group-wise analyses were needed to differentiate between the exercise compliance groups in their improvements and especially in their sustainability (Table 4). At baseline (t1), there were no significant cross-sectional group mean differences in any parameter. Looking in detail for group-wise changes within the subsamples from t1 to t2, we found significant improvements for all three groups (p-values ranging from 0.048 to  $< 0.001$ ) except for the H/Q ratio [%] within the 'no sport' subsample ( $p = 0.081$ ).

At the second time point of measurement (t2), there were again no significant cross-sectional differences in any parameter between the groups, which was confirming our second hypothesis assuming significant acute improvements after the starter rehabilitation program for all patients' subsamples.

At the one-year follow-up time point (t3), longitudinal differences between t3 and baseline values (t1) remained significant in all groups (p-values ranging from 0.049 to  $< 0.001$ ), except for the PACT and the EQ-total values in the 'home training' group ( $p = 0.556$ , and  $p = 0.068$ , respectively), and for the H/Q ratio in the 'no sport' group ( $p = 0.336$ ) (Table 4).

The cross-sectional analysis at the one-year follow-up revealed a significantly worse state of the 'no sport' group compared to the 'gym' group in the WOMAC (A) (2.6 vs. 1.9 pts.) and (C) (2.2 vs. 1.7 pts.) dimension, and in the PWC performance value (1.6 vs. 1.7 Watt/kg) ( $p < 0.05$ ), respectively. For the

WOMAC (B), PACT, EQ-total and the H/Q ratio values, there were no significant cross-sectional group differences at t3 ( $p > 0.05$ ).

At the two-year follow-up, the 'no sport' group demonstrated no longer significant longitudinal mean differences between t4 and t1 in the physical performance parameters H/Q ratio and PWC ( $p = 0.651$ , and  $0.055$ , respectively) (Table 4). Moreover, the 'no sport' group showed no longer significant mean differences between t4 and t1 in most of the functional scores like WOMAC (A), WOMAC (C), PACT and EQ-total ( $p > 0.05$ ).

The 'home training' group showed either some mean differences between t4 and t1 being no longer significant for the PACT score and the H/Q ratio ( $p = 0.082$ , and  $p = 0.585$ , respectively). In the 'gym' group, all mean differences between t4 and t1 remained highly significant ( $p < 0.001$ ) indicating sustainability (Table 4).

These group-dependent differences in the two-year sustainability led to significant cross-sectional differences at t4. The 'gym' group was significantly better than the 'no sport' group in all parameters ( $p < 0.05$ , indicated as \* in Table 4), except for the H/Q ratio. Moreover, the 'gym' group was significantly better than the 'home training' group in the WOMAC (A) dimension ( $p < 0.05$ , indicated as † in Table 4). Furthermore, the 'home training' group was significantly better than the 'no sport' group in the WOMAC (A) dimension, the EQ-total score and the PWC performance value ( $p < 0.05$ , indicated as # in Table 4) meaning advantages either for the home training group compared to no training (Table 4).

In each subsample, effect sizes for the one-year sustainability values ( $\Delta t1 - t3$ ) were considerably smaller than those for the acute intervention effects ( $\Delta t1 - t2$ ), and they were even pronounced smaller for the two-year follow-up sustainability ( $\Delta t1 - t4$ ) (Table 4).

These findings supported our hypotheses numbers 3 and 4, assuming persistent long-term improvements in favor of the 'gym' group demonstrating better follow-up results in comparison to the 'home training' or 'no sport' subsamples, which shall be illustrated as an example for the WOMAC (A) dimension (Fig. 3).

#### 4. Discussion

The purpose of this long-term observational study was to verify sustainability of positive acute effects after an initial multimodal short-term intervention

Table 3

Descriptive statistics (mean  $\pm$  SD) for the training groups (gym, home, no sport) during all time points of measurement (t1 "baseline", t2 "post starter course", t3 "1-year follow-up", t4 "2-year follow-up") with main and interaction effects (group  $\times$  time) of a 2-way ANOVA

	Groups	Repeated points of measurements				Group F-value (p-value) ES: $\eta^2_p$	Time F-value (p-value) ES: $\eta^2_p$	Group $\times$ time F-value (p-value) ES: $\eta^2_p$
		t1	t2	t3	t4			
WOMAC (A) pain [pts.]	Gym	2.9	2.1	1.9	1.7	5.665 (0.004 <sup>†</sup> ) 0.028	44.839 (<0.001 <sup>†*</sup> ) 0.101	6.562 (<0.001) 0.032
	SD	1.9	1.7	1.7	1.5			
	Home	2.7	2.0	2.2	2.3			
	SD	1.8	1.6	1.8	1.8			
	No sport	3.3	2.2	2.6	3.0			
	SD	1.8	1.7	1.8	2.1			
WOMAC (B) joint stiffness [pts.]	Gym	3.9	2.6	2.6	2.5	1.882 (0.154) 0.009	54.991 (<0.001 <sup>†**</sup> ) 0.121	4.943 (<0.001) 0.024
	SD	2.5	2.2	2.1	2.0			
	Home	3.7	2.6	3.1	3.0			
	SD	2.3	2.0	2.3	2.4			
	No sport	4.1	2.7	3.0	3.6			
	SD	2.5	2.2	2.0	2.2			
WOMAC (C) dysfunction [pts.]	Gym	2.5	1.8	1.7	1.6	4.645 (0.010) 0.023	50.290 (<0.001 <sup>†*</sup> ) 0.112	4.771 (<0.001) 0.023
	SD	1.8	1.6	1.6	1.4			
	Home	2.6	1.7	1.9	2.0			
	SD	1.8	1.5	1.7	1.7			
	No sport	2.9	2.0	2.2	2.7			
	SD	1.8	1.7	1.5	2.0			
PACT [pts.]	Gym	160.3	167.7	169.0	170.3	1.388 (0.251) 0.007	8.100 (<0.001 <sup>†**</sup> ) 0.020	4.860 (<0.001) 0.024
	SD	30.7	27.9	28.3	27.5			
	Home	159.3	164.0	161.0	164.2			
	SD	28.1	32.4	34.6	31.0			
	No sport	164.2	169.9	169.9	160.3			
	SD	23.9	25.6	21.8	28.5			
EQ-total [pts.]	Gym	68.8	75.7	75.6	75.4	2.772 (0.064) 0.014	24.432 (<0.001 <sup>†**</sup> ) 0.058	4.559 (<0.001) 0.022
	SD	15.7	13.1	14.2	14.7			
	Home	71.4	77.3	73.9	75.0			
	SD	17.8	15.3	16.7	16.2			
	No sport	68.5	75.7	71.6	67.5			
	SD	13.8	13.9	14.2	16.4			
H/Q ratio isokinetic torque 150°/s [%]	Gym	56.5	60.3	60.8	60.9	0.451 (0.638) 0.002	14.624 (<0.001 <sup>†*</sup> ) 0.035	2.450 (0.030) 0.012
	SD	14.1	12.9	12.6	12.7			
	Home	57.3	61.1	60.0	58.0			
	SD	14.6	17.2	16.6	12.5			
	No sport	59.2	62.5	61.1	60.0			
	SD	20.1	13.3	12.9	12.3			
PWC [W/kg]	Gym	1.4	1.6	1.7	1.7	2.240 (0.108) 0.011	48.716 (<0.001 <sup>†</sup> ) 0.109	7.221 (<0.001) 0.035
	SD	0.4	0.4	0.5	0.5			
	Home	1.5	1.7	1.7	1.7			
	SD	0.4	0.5	0.4	0.5			
	No sport	1.5	1.7	1.6	1.5			
	SD	0.4	0.4	0.4	0.4			

Legend: ES effect size = partial eta squared  $\eta^2_p$ , <sup>†</sup> t1 significantly different from t2, t3, t4, <sup>\*\*</sup> t1 significantly different from t2, t3 (but not t4), <sup>\*</sup> t4 significantly different from t2, <sup>\*\*</sup> t3 & t4 significantly different from t2, <sup>†</sup> group 3 (no training) significantly different from group 1 (gym).

in knee osteoarthritis patients from the construction industry depending on their individual exercise compliance and adherence. Standards should be created that enable workers in the trades and construction industry to perform their knee-straining activities without suffering increased degenerative changes in their knee joints.

Those patients who completed a supervised systematic exercise protocol at a gym during the two-year observational period demonstrated sustained two-year follow-up improvements. In comparison, those who practiced only home training or even no training demonstrated meaningful decreases of their initial improvements after one or two years in the

Table 4  
Group-wise longitudinal analyses for the differences between baseline (t1) and the following time points (t2 "after starter course", t3 "1-year follow-up", t4 "2-year follow-up") showing mean differences ( $\Delta$ ) with confidence intervals (CI) and Cohen's d effect size (d), and cross-sectional between groups analyses at any time point

Groups	t1 (baseline)	$\Delta$ t1-t2	(95% CI)	p-value	d	$\Delta$ t1-t3	(95% CI)	p-value	d	$\Delta$ t1-t4	(95% CI)	p-value	d		
<b>WOMAC (A) pain [pts.]</b>															
Gym	2.9	0.85	(0.67 - 1.04)	<0.001	0.64	2.1	0.98	(0.74 - 1.22)	<0.001	0.58	1.9	1.17	(0.91 - 1.43)	<0.001	0.63
SD	1.9					1.7				1.7					1.5
Home	2.7	0.71	(0.40 - 1.03)	<0.001	0.43	2.0	0.52	(0.17 - 0.87)	0.004	0.28	2.2	0.43	(0.08 - 0.78)	0.017	0.23
SD	1.8					1.6				1.8					1.8
No sport	3.3*	1.18	(0.86 - 1.50)	<0.001	0.75	2.2	0.79	(0.39 - 1.19)	<0.001	0.40	2.6*	0.39	(-0.03 - 0.80)	0.066	0.19
SD	1.8					1.7				1.8					3.0**
<b>WOMAC (B) joint stiffness [pts.]</b>															
Gym	3.9	1.34	(1.06 - 1.62)	<0.001	0.68	2.6	1.30	(0.99 - 1.62)	<0.001	0.58	2.6	1.44	(1.10 - 1.77)	<0.001	0.61
SD	2.5					2.2				2.1					2.0
Home	3.7	1.14	(0.77 - 1.52)	<0.001	0.58	2.6	0.61	(0.20 - 1.01)	0.004	0.28	3.1	0.66	(0.21 - 1.10)	0.004	0.28
SD	2.3					2.0				2.3					2.4
No sport	4.1	1.39	(1.04 - 1.74)	<0.001	0.81	2.7	1.07	(0.63 - 1.51)	<0.001	0.50	3.0	0.47	(0.06 - 0.87)	0.025	0.23
SD	2.5					2.2				2.0					3.6*
<b>WOMAC (C) dysfunction [pts.]</b>															
Gym	2.5	0.75	(0.58 - 0.92)	<0.001	0.62	1.8	0.82	(0.61 - 1.04)	<0.001	0.55	1.7	0.93	(0.69 - 1.17)	<0.001	0.54
SD	1.8					1.6				1.6					1.4
Home	2.6	0.89	(0.64 - 1.14)	<0.001	0.68	1.7	0.62	(0.34 - 0.91)	<0.001	0.42	1.9	0.59	(0.29 - 0.88)	<0.001	0.38
SD	1.8					1.5				1.7					2.0
No sport	2.9	0.93	(0.62 - 1.23)	<0.001	0.61	2.0	0.71	(0.36 - 1.06)	<0.001	0.41	2.2*	0.25	(-1.1 - 0.61)	0.166	0.14
SD	1.8					1.7				1.5					2.7*
<b>FACT [pts.]</b>															
Gym	160.3	7.50	(4.3 - 10.5)	<0.001	0.35	167.7	8.73	(5.0 - 12.5)	<0.001	0.33	169.0	10.02	(6.04 - 14.00)	<0.001	0.36
SD	30.7					27.9				28.3					27.5
Home	159.3	4.71	(0.05 - 9.37)	0.048	0.19	164.0	1.65	(-3.88 - 7.17)	0.556	0.06	161.0	4.85	(0.62 - 10.31)	0.082	0.17
SD	28.1					32.4				34.6					164.2
No sport	164.2	5.72	(1.70 - 9.70)	0.006	0.29	169.9	5.66	(1.18 - 10.14)	0.014	0.25	169.9	3.91	(-1.37 - 9.18)	0.145	0.15
SD	23.9					25.6				21.8					160.3*
<b>EQ-5oM1 [pts.]</b>															
Gym	68.8	6.88	(5.1 - 8.6)	<0.001	0.56	75.7	6.80	(4.47 - 9.14)	<0.001	0.41	75.6	6.65	(4.09 - 9.20)	<0.001	0.37
SD	15.7					13.1				14.2					75.4
Home	71.4	5.88	(3.28 - 8.48)	<0.001	0.43	77.3	2.49	(0.19 - 5.19)	0.068	0.18	73.9	3.55	(0.53 - 6.57)	0.022	0.23
SD	17.8					15.3				16.7					75.0
No sport	68.5	7.16	(4.78 - 9.53)	<0.001	0.61	75.7	3.04	(0.01 - 6.07)	0.049	0.20	71.6	0.97	(-2.37 - 4.31)	0.566	0.06
SD	13.8					13.9				14.2					67.5**
<b>H/Q ratio 150% [%]</b>															
Gym	56.5	3.8	(2.5 - 5.2)	<0.001	0.40	60.3	4.3	(2.9 - 5.6)	<0.001	0.43	60.8	4.4	(2.9 - 5.9)	<0.001	0.41
SD	14.1					12.9				12.6					60.9
Home	57.3	3.8	(2.2 - 5.4)	<0.001	0.44	61.1	2.7	(1.2 - 4.1)	0.001	0.31	60.0	0.61	(-1.60 - 2.81)	0.585	0.05
SD	14.6					17.2				16.6					58.0
No sport	59.2	3.3	(0.4 - 7.1)	0.081	0.18	62.5	1.9	(-2.0 - 5.7)	0.336	0.10	61.1	0.83	(-2.79 - 4.45)	0.651	0.05
SD	20.1					13.3				12.9					60.0
<b>PWC [W/kg]</b>															
Gym	1.4	0.19	(0.17 - 0.23)	<0.001	0.94	1.6	0.28	(0.22 - 0.34)	<0.001	0.68	1.7	0.28	(0.21 - 0.35)	<0.001	0.58
SD	0.4					0.4				0.5					1.7
Home	1.5	0.18	(0.14 - 0.23)	<0.001	0.82	1.7	0.17	(0.12 - 0.23)	<0.001	0.62	1.7	0.15	(0.09 - 0.21)	<0.001	0.44
SD	0.4					0.5				0.4					1.7
No sport	1.5	0.02	(0.16 - 0.24)	<0.001	1.01	1.7	0.12	(0.07 - 0.18)	<0.001	0.46	1.6*	0.05	(-0.001 - 0.11)	0.055	0.20
SD	0.4					0.4				0.4					1.5**

Legend: \* group 'no sport' significantly different from group 'gym', # group 'no sport' significantly different from group 'home', † group 'home' significantly different from group 'gym'.



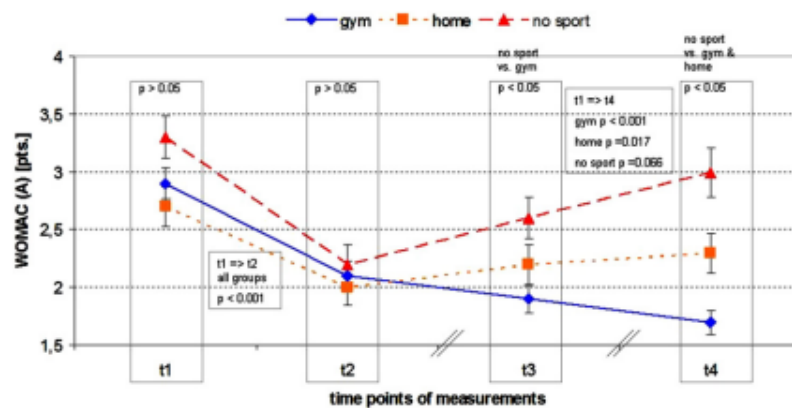


Fig. 3. Group-dependent changes of the sub-samples ('gym', 'home', 'no sport') over the time course of the 2-year follow-up (t1: pre-starter program, t2: post-3-weeks starter program, t3: 1-year follow-up after self-organized exercising before first refresher course, t4: 2-year follow-up after self-organized exercising before second refresher course) for the functional knee outcome WOMAC (A) dimension (mean  $\pm$  SEM).

majority of the investigated clinical and functional outcomes.

The evidence of immediate positive effects on muscle strength and quality of life as well as pain and functional status has already been described in previous reviews, while the sustainability of the positive effects over a span of six months could not be described in 86 included original papers [11–14]. In this regard, the findings described here can contribute to the knowledge gained in secondary prevention research in knee osteoarthritis among craftsmen and construction workers. The acute improvements in group 1 with training in the gym after the initial three-week 'knee college' not only remained over the two-year observation period with the first refresher course after one year, but continued to improve, albeit more slowly in the further process. Earlier studies have also been able to demonstrate long-term effects in isolated cases; however, the observation periods were shorter - in the longest case 18 months [15–19]. The difficulty of a long-term success for the patients is to remain active after the initial improvements. This observation may also show that an affiliation to a gym together with periodically reminders lead to a greater compliance and therefore higher success rate than practicing exercise for your own or don't exercise at all.

Exercise based multimodal training concepts for craftsman and workers in the construction industry with knee osteoarthritis, as institutionalized as standard in the BG Clinics, include not only guided individual and group training therapy, but also educa-

tional and psychological components [27, 28] and do justice to the fact that pure strengthening is not sufficient to ensure clinically relevant and sustainable improvements [29–32]. Apart from a study with a significantly lower number of cases [7], no data were available for a two-year observation period regarding the long-term effectiveness depending on the training adherence and the influence of the type of long-term training. Other working groups examined different intervention and comparison groups over a period of eight weeks to 18 months, but could not find any intervention-dependent differences in effectiveness [15–19].

## 5. Limitations

In addition to a selection bias and the exclusively male patients, due to the occupational background and the voluntary participation over a two year period, the results of this study were certainly limited by the fact that it was not a randomized controlled study. The comparison groups were constituted retrospectively depending on the chosen long-term training behavior. For the period between the mandatory refresher appointments after one and two years, the patients were asked to take the recommended personal-supported gym training, but of course it was voluntary activity [13]. Post-hoc questions were asked which long-term training the patients had practiced. Any inaccuracies in the information on the regularity of the training cannot be ruled out as a bias.

Thus, the results were interpreted as being related to the respective training protocol being characterized by the motor tasks of the specifically instructed exercises. But additional motivational effects in the sense of a third variable problem cannot be ruled out as confounders, e.g. enhanced motivation due to personal-trainer relations in the gym, or probably the social environment with a crowd of companion, or even a probably more motivating character of machine-based exercising (in contrast to an isolated body-weight home training) may have affected compliance, adherence and subsequently the follow-up outcomes.

## 6. Conclusions

Despite the above-mentioned limitations, it may be concluded that the sustained effectiveness of the multimodal 'knee college' in craftsman and workers in the construction industry with knee osteoarthritis can be assumed as an interaction with different long-term exercise training behavior of these patients. With some caution, it might be assumed that instructed exercise and strength training in the gym brings about clear sustainability advantages over patients who only train alone at home or possibly do even no exercises at all. Future dose-response relationship analysis should prospectively evaluate larger cohorts and strategies to improve compliance and adherence.

## Ethics statement

Ethics approval was obtained (aekhh-24012019) and the study was registered at the German Register of Clinical Studies (DRKS00021794). All therapeutic content and testing were ethically harmless measures that are internationally certified and are part of the standard care package for osteoarthritis patients. All patients were informed about the clinical measures and the evaluation of the data and gave their written consent for the use of their anonymous data. The evaluation was carried out in accordance with the 2013 Declaration of Helsinki.

## Informed consent

All authors mentioned in the manuscript have agreed to authorship, read and approved the manuscript, and given consent for submission and subsequent publication of the manuscript.

## Conflict of interest

The authors affirm they have no conflict of interest related to the content presented in this manuscript.

## Acknowledgments

None to report.

## Funding

This research did not receive any specific grants from funding agencies in the public, commercial or non-profit sectors.

## References

- [1] Diehl P, Gerdesmeyer L, Schauwecker J, Kreuz PC, Gollwitzer H, Tischer T. Conservative therapy of osteoarthritis. *Orthopade*. 2013;42:125-139.
- [2] Thun M, Tanaka S, Smith AB, Halperin WE, Lee ST, Luggen ME, et al. Morbidity from repetitive knee trauma in carpet and floor layers. *J Occup Environ Med*. 1987;44(9):611-620.
- [3] Jensen LK, Mikkelsen S, Loft IP. Work-related knee disorders in floor layers and carpenters. *J Occup Environ Med*. 2000;42(8):835-842.
- [4] Kivimäki J, Riihimäki H, Hänninen K. Knee disorders in carpet and floor layers and painters. *Scand J Work Env Hea*. 1992;18(5):310-316.
- [5] Hunter DJ, Eckstein F. Exercise and osteoarthritis. *J Anat*. 2009;214(2):197-207.
- [6] McMillan G, Nichols L. Osteoarthritis and meniscus disorders of the knee as occupational diseases of miners. *Occup Environ Med*. 2005;62(8):567-575.
- [7] Pietsch A, Schroeder J, Hollander K, Riepenhof H. Effects and sustainability of knee school: 2-year results of a secondary prevention program for gonarthrosis. *Orthopade*. 2019;49(5):443-448.
- [8] Jan MH, Lin JJ, Liao JJ, Lin YF, Lin DH. Investigation of clinical effects of high- and low-resistance training for patients with knee osteoarthritis: A randomized controlled trial. *Phys Ther*. 2008;88(4):427-436.
- [9] Juhl C, Christensen R, Roos EM, Zhang W, Lund H. Impact of exercise type and dose on pain and disability in knee osteoarthritis: A systematic review and meta-regression analysis of randomized controlled trials. *Arthritis Rheumatol (Hoboken, N.J.)*. 2014;66(3):622-636.
- [10] Krauss I, Steinhilber B, Haupt G, Miller R, Grau S, Janssen P. Efficacy of conservative treatment regimes for hip osteoarthritis - evaluation of the therapeutic exercise regime "Hip School": A protocol for a randomised, controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2011;12:270.
- [11] Fransen M, McConnell S, Harmer AR. Exercise for osteoarthritis of the knee: a Cochrane systematic review. *Br J Sports Med*. 2015;49:1554-1557.



- [12] Krauß I. Exercise Therapy for Hip and Knee Osteoarthritis. *Dtsch Z Sportmed.* 2016;67:276-281.
- [13] Krauß I. Appeal towards Convincing Exercise Recommendations for Patients with Osteoarthritis. *Dtsch Z Sportmed.* 2017;68:217-218.
- [14] Franssen M, McConnell S. Land-based exercise for osteoarthritis of the knee: a metaanalysis of randomized controlled trials. *J Rheumatol.* 2009;36:1109-1117.
- [15] Abbott JH, Chapple CM, Fitzgerald GK, Fritz JM, Childs JD, Harcombe H, et al. The Incremental Effects of Manual Therapy or Booster Sessions in Addition to Exercise Therapy for Knee Osteoarthritis: A Randomized Clinical Trial. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2015;45:975-983.
- [16] Bennell KL, Campbell PK, Egerton T, Metcalf B, Kasza J, Forbes A, et al. Telephone Coaching to Enhance a Home-Based Physical Activity Program for Knee Osteoarthritis: A Randomized Clinical Trial. *Arthrit Care Res.* 2017;69:84-94.
- [17] Miller LE, Block JE. An 8-week multimodal treatment program improves symptoms of knee osteoarthritis: a real-world multicenter experience. *Pragmat Obs Res.* 2013;4:39-44.
- [18] Rooij M de, Leeden M van der, Cheung J. Efficacy of tailored exercise therapy on physical functioning in patients with knee osteoarthritis and comorbidity: A randomized controlled trial. *Arthrit Care Res.* 2017;69:807-816.
- [19] Skou ST, Rasmussen S, Laurson MB, Rathleff MS, Arendt-Nielsen L, Simonsen O, et al. The efficacy of 12 weeks non-surgical treatment for patients not eligible for total knee replacement: a randomized controlled trial with 1-year follow-up. *Osteoarthritis Cartilage.* 2015;23:1465-1475.
- [20] Jensen LK, Kofoed LB. Musculoskeletal disorders among floor layers: is prevention possible? *Appl Occup Environ Hyg.* 2002;17:797-806.
- [21] Rytter S, Jensen LK, Bonde JP. Knee complaints and consequences on work status; a 10-year follow-up survey among floor layers and graphic designers. *BMC Musculoskelet Disord.* 2007;8(1):93.
- [22] Lohss R, Geissler N, Thiel M, Goehle M, Egen C, Gutenbrunner C. Measurement of Isokinetic Force in Relation to the Attested Working Inability of Orthopedic Patients in Rehabilitation with Degenerative Knee Disorders. *Phys Med Rehab Kur Med.* 2017;27:141-148.
- [23] Hollmann W, Rost R, Liesen H, Dufaux B, Heck H, Mader A. Assessment of different forms of physical activity with respect to preventive and rehabilitative cardiology. *Int J Sports Med.* 1981;2(02):67-80.
- [24] Stucki G, Meier D, Stucki S. Evaluation of a German Version of WOMAC Arthrosis Index. *Z Rheumatol.* 1996;55:40-49.
- [25] Mulhern B, Shah KK, Bas Janssen MF, Longworth L. Valuing EQ-5D-5L using TTO and DCE: Does dimension order impact on health state values? *EuroQol Research Foundation.* Rotterdam; 2015.
- [26] Matheson LN, Matheson ML, Grant JJ. Development of a measure of perceived functional ability. *J Occup Rehabil.* 1993;3:15-30.
- [27] Bruschini M, Carli A, Burla F. Burnout and work-related stress in Italian rehabilitation professionals: A comparison of physiotherapists, speech therapists and occupational therapists. *Work.* 2018;59(1):121-129.
- [28] Park J, Gross DP, Rayani F, Norris CM, Roberts MR, James C, et al. Model of human occupation as a framework for implementation of motivational interviewing in occupational rehabilitation. *Work.* 2019;62(4), 629-641.
- [29] Bartholdy C, Juhl C, Christensen R, Lund H, Zhang W, Henriksen M. The role of muscle strengthening in exercise therapy for knee osteoarthritis: A systematic review and meta-regression analysis of randomized trials. *Semin Arthritis Rheum.* 2017;47:9-21.
- [30] Bennell KL, Dobson F, Hinman RS. Exercise in osteoarthritis: moving from prescription to adherence. *Best Pract Res Clin Rh.* 2014;28:93-117.
- [31] Carmona-Terés V, Moix-Queralto J, Pujol-Ribera E, Lumillo-Gutiérrez I, Mas X, Batlle-Gualda E, et al. Understanding knee osteoarthritis from the patients' perspective: a qualitative study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18(1):225.
- [32] Dropkin J, Roy A, Szeinuk J, Moline J, Baker R. A primary care team approach to secondary prevention of work-related musculoskeletal disorders: Perspectives from physical therapy. *Work.* 2021;70:1195-1217.

## **Anhang E: Publikation 2**

Referenzwerte in der isometrischen Kraftdiagnostik – Messung von Rumpfkraftwerten bei Patienten mit Rückenschmerzen

Aki Pietsch  
Jan Schröder  
Rüdiger Reer  
Christopher Edler  
Andrej Kutasow  
Helge Riepenhof

Der Orthopäde.  
2021, 50(11), 946-954.

Impact Factor 1.004

Orthopäde 2021 · 50:946–954  
<https://doi.org/10.1007/s00132-021-04091-y>  
 Angenommen: 16. Februar 2021  
 Online publiziert: 15. März 2021  
 © Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2021



Aki Pietsch<sup>1,2</sup> · Jan Schröder<sup>2</sup> · Rüdiger Reer<sup>2</sup> · Christopher Edler<sup>1</sup> · Andrej Kutasow<sup>1</sup> · Helge Riepenhof

<sup>1</sup> Sportprävention, Sportrehabilitation, BG Klinikum Hamburg, Hamburg, Deutschland

<sup>2</sup> Arbeitsbereich Sport- und Bewegungsmedizin, Institut für Bewegungswissenschaft, Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland

## Referenzwerte in der isometrischen Kraftdiagnostik

### Messung von Rumpfkraftwerten bei Patienten mit Rückenschmerzen

**In der Rehabilitation von Rückenschmerzpatienten ist Krafttraining fester Bestandteil multimodaler Therapiekonzepte. Zur Qualitätssicherung und in der Versorgungsforschung ist es notwendig, die Therapieerfolge quantitativ abzubilden. Die isometrische Kraftdiagnostik gilt hier als ein valides und reliables Verfahren. Zur Einordnung individueller Patientendaten sind Referenzwerte oder Normierungen notwendig. In diesem Beitrag werden Rumpfkraftreferenzwerte von Rückenschmerzpatienten beider Geschlechter und unterschiedlicher Altersgruppen für die Nutzung im klinischen Alltag vorgestellt.**

#### Hintergrund

Zusammenhänge zwischen Rückenbeschwerden und Defiziten in der Rumpfstabilität [1], aber auch die Wirkung von Krafttraining auf das Rückenschmerzleben [2] sind schon seit den 1950er-Jahren bekannt und publiziert. Darüber hinaus gilt mangelnde Fitness und die Schwäche der Rückenmuskulatur schon seit Ende der 1970er-Jahre als Risikofaktor für die Inzidenz von Rückenbeschwerden in exponierten Berufsgruppen, wie z. B. Feuerwehrleuten [3]. Schon

1980 gab es gegenüberstellende Rumpfmuskelkraftprofile zwischen Rückenschmerzpatienten und rückengesunden Vergleichspersonen [4, 5]. Krafttests und korrespondierende Rumpfmuskelkraftprofile sind seither Bestandteil von Rehabilitationskonzepten. Sie können die Basis einer individualisierten Trainings-/Rekonditionierungstherapie sein, wie es von Denner in den 1990er-Jahren in Deutschland vorgestellt wurde [6]. Auf der anderen Seite können mithilfe von biomechanisch erfassten Kraftkennwerten auch Referenzdaten im Sinne wissenschaftlicher Gütekriterien zusammengestellt werden [7], die zur diagnostischen Einordnung klinischer

#### Abkürzungen

BMI	Body-Mass-Index
DMS	Dehnungsmessstreifen
ICC	Intraklassen-Korrelationskoeffizient
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
M	Arithmetisches Mittel
SD	Standardabweichung
SEM	Standardfehler



**Abb. 1** ▲ Rumpfmuskelkraft-Testgerät Myoline® mit Standardisierungselementen (Oberschenkel-, Becken- und Schulterfixierung) und höhenverstellbarer Schultergürteleinheit (oben) für die Rückenstreckung (Extension), die Rumpfbeugung (Flexion), die Drehung (Rotation) und die Seitneigung (Lateralflexion). (Mit freundl. Genehmigung, © BG Klinikum Hamburg, alle Rechte vorbehalten)

A. Pietsch und J. Schröder haben zu gleichen Teilen zum Manuskript beigetragen. Bei geteilter Erstautorenschaft fungiert A. Pietsch als korrespondierender Autor.

Tab. 1 Stichprobenbeschreibung							
			n	M	SD	Min	Max
Frauen	Größe (cm)	18–35 Jahre	40	168,9	6,5	155	180
		36–50 Jahre	189	168,2	6,3	152	184
		51–65 Jahre	312	167,7	6,3	150	186
		Total	541	168,0	6,3	150	186
	Gewicht (kg)	18–35 Jahre	40	75,7	17,4	51	127
		36–50 Jahre	189	76,7	17,5	47	143
		51–65 Jahre	312	75,3	13,7	45	137
		Total	541	75,8	15,4	45	143
	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	18–35 Jahre	40	26,5	5,5	18,5	42,4
		36–50 Jahre	189	27,1	6,0	17,1	49,1
		51–65 Jahre	312	26,8	4,5	17,0	44,2
		Total	541	26,9	5,2	17,0	49,1
Männer	Größe (cm)	18–35 Jahre	11	182,2	3,5	178	187
		36–50 Jahre	42	180,0	6,4	164	193
		51–65 Jahre	84	179,1	6,9	152	198
		Total	137	179,6	6,6	152	198
	Gewicht (kg)	18–35 Jahre	11	90,1	13,5	73	117
		36–50 Jahre	42	91,7	16,0	51	148
		51–65 Jahre	84	91,8	13,9	52	125
		Total	137	91,6	14,5	51	148
	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	18–35 Jahre	11	27,1	3,7	22,5	33,5
		36–50 Jahre	42	28,2	4,5	17,4	46,2
		51–65 Jahre	84	28,6	4,2	17,4	40,6
		Total	137	28,4	4,3	17,4	46,2

BMI Body-Mass-Index, n Stichprobengröße, M arithmetisches Mittel, SD Standardabweichung, SEM Standardfehler, Min Minimum, Max Maximum

Einzelfälle genutzt werden können [8, 9]. Bei der isometrischen Kraftdiagnostik muss beachtet werden, dass resultierende Maximalkräfte oder Drehmomente von Gerät zu Gerät – bedingt durch stark variierende Hebelverhältnisse bei der Krafttestung – nicht direkt miteinander verglichen werden können, sodass eigene klinische Daten nur dann mit publizierten Referenzwerten in Beziehung gesetzt werden dürfen, wenn exakt das gleiche Testinstrumentarium verwendet wurde [9]. Bereits 1984 haben Kulig, Andrews und Hay [10] für eine Vielzahl von Muskelgruppen vorgestellt, inwieweit das resultierende maximale Drehmoment in Abhängigkeit vom Gelenkwinkel der jeweils getesteten Muskeln variieren kann. Dies betrifft nicht nur die Erfassung der jeweiligen Maximalkraftwerte, sondern auch die klinisch häufig interessierenden Quotienten, z. B. aus Rumpfbeugung und -streckung.

Daraus ist abzuleiten, dass klinisch relevante und wissenschaftstheoretisch

notwendige Referenzwerte für jedes nicht baugleiche Testinstrumentarium erneut ermittelt werden müssen. In der vorliegenden Arbeit werden Maximalkraftkennwerte der Rumpfkraft in allen drei Dimensionen für eine große Stichprobe von Rückenschmerzpatienten beiderlei Geschlechts und unterschiedlicher Altersgruppen für die isometrische Kraftdiagnostik mit dem Testgerät Myoline® der jüngsten Generation vorgestellt.

## Methoden

### Studiendesign

Die Daten wurden im Sinne einer punktuellen Querschnittstudie im Rahmen einer stationären Rehabilitationsmaßnahme einer Spezialkohorte (Rückenschmerzpatienten) für geschlechts- und altersklassendifferenzierte Cluster retrospektiv erhoben. Evidenzlevel 3.

## Stichprobe

Die hier untersuchten Patienten ( $n = 678$ ) waren Teilnehmer einer stationären Rehabilitationsmaßnahme bei chronischen Rückenbeschwerden (ICD-10: M54). Die Patienten kamen aus unterschiedlichen Berufen (541 Frauen, 137 Männer) und waren zwischen 18 und 65 Jahre alt. Die Gesamtgruppe wurde geschlechtersepariert in Altersklassen eingeteilt (18–35, 36–50, 51–65 Jahre). Die Personenmerkmale sind in Tab. 1 zu entnehmen.

## Krafttestung

Die Rumpfmuskelkraft in der komplexen Rumpffrotation und Lateralflexion sowie der Rückenstreckung und der komplexen Rumpfbeugung – jeweils unter Einbeziehung aller Synergisten – wurde im Sitzen unter standardisierten Bedingungen mithilfe des Messsystems Myoline® (Diers, Schlangenbad, Deutschland) als isometrische Maximalkraft getestet (DMS-Kraftmessdose: 100 Hz, Filter: gleitendes Mittel über 0,3 s). Die interindividuell standardisierte Positionierung und Fixierung (Begrenzungsflächen, höhenverstellbares Schulterelement sowie Hüft- und Oberschenkelgurte) erlaubten eine zuverlässige Ermittlung der Kräfte in Extension und Flexion (ICC > 0,95) [9], zumal vor jeder Testung maximale Übungscontraktionen durchgeführt wurden (Abb. 1). Die absoluten Kräfte (N) und die auf das Körpergewicht relativierten Kräfte (N/kg) sowie die aus den relativierten Kraftkennwerten berechneten Quotienten (%) sowohl für die Rumpffrotation und die Seitneigung nach links und rechts (li/re) als auch für die Flexion und Extension (Flex/Ex) wurden der statistischen Analyse zugeführt.

## Statistische Methoden

Die Daten wurden deskriptiv als Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) sowie durch den Standardfehler des Mittels (SEM) und das resultierende 95% Konfidenzintervall mit den jeweiligen Unter- und Obergrenzen beschrieben. Zusätzlich wurden Minima (Min) und Maxima (Max) ausgewiesen. Für die inferenzstatistische Prüfung

**Referenzwerte in der isometrischen Kraftdiagnostik. Messung von Rumpfkraftwerten bei Patienten mit Rückenschmerzen**

**Zusammenfassung**

**Hintergrund.** Die isometrische Kraftdiagnostik der Rumpfmuskulatur gilt als zuverlässiges und valides Instrument zur Funktionsdiagnostik und Qualitätssicherung in der Rehabilitation bei Rückenschmerzpatienten. Notwendige Referenzwerte variieren jedoch in Abhängigkeit von den biomechanischen Hebelverhältnissen von Gerät zu Gerät. Ziel dieser Arbeit war, geschlechter- und altersklassendifferenzierte (18–35, 36–50, 51–65 Jahre) Referenzwerte für die isometrische Kraftdiagnostik der Rumpfkraft (Gerät: Myoline®, Diers, Schlangenbad, Deutschland) in allen Dimensionen zu evaluieren. **Material und Methoden.** In einer retrospektiven Querschnittsanalyse wurden isometrische Maximalkraftdaten der

Rumpfmuskulatur (Absolutwerte [N] und auf das Körpergewicht relativiert [N/kg]) von 678 Rückenschmerzpatienten (ICD-10: M54, 541 Frauen, 137 Männer) für die Flexion, Extension, Rotation und Lateralflexion sowie für die Antagonistenquotienten analysiert ( $M \pm SD$ , 95% CI) und im Hinblick auf systematische Effekte geprüft (2-way ANOVA). **Ergebnisse.** Männer und Jüngere waren in allen Dimensionen stärker als Frauen und Ältere ( $p < 0,05$ ). Sämtliche Quotienten unterschieden sich im Mittel jedoch nicht zwischen den Geschlechtern und Altersgruppen ( $p > 0,05$ ). Der Quotient Flexion/Extension wies ein Verhältnis von 1:2 auf; für die Rotation und die Lateralflexion wurde eine annähernde Symmetrie ermittelt (1:1),

allerdings wiesen alle Mittelwertangaben erhebliche Streuungen auf (30–50%). **Schlussfolgerung.** Die vorliegenden Daten repräsentieren eine Spezialnorm für altersklassendifferenzierte Werte mit dem aktuellen Myoline®-Testsystem. Die erheblichen Streuungen in allen Dimensionen inklusive der Quotienten bilden die individuelle Diversität und Heterogenität der Patientenfunktionskapazität bei chronischen Rückenschmerzen ab.

**Schlüsselwörter**

Rumpfmuskulatur · Kreuzschmerz · Normwerte · Krafttraining · Antagonisten-Relation

**Reference values in isometric strength diagnostics. Measurement of core strength values in patients with back pain**

**Abstract**

**Objective.** Isometric strength testing is known as a valid and reliable tool in the context of functional diagnostics and quality control for chronic low back pain rehabilitation, but reference values differ markedly between varied assessment devices, depending on their biomechanical lever arm framework. This study aimed to evaluate sex and age-specific isometric peak force reference values of trunk muscle functions in all dimensions using the Myoline® test device (Diers, Schlangenbad, Germany). **Material and methods.** In a retrospective cross-sectional study, data of 678 (541 females, 137 males) age-clustered (18–35,

36–50, 51–65 years) low back pain patients (ICD-10: M54) were analyzed referring to their absolute (N) and body weight related (N/kg) isometric maximum peak forces in all spatial dimensions (flexion, extension, rotation, lateral flexion) and the corresponding ratios ( $M \pm SD$ , 95% CI), accompanied by sex and age-related effect analyses (two-way ANOVA). **Results.** Male and younger patients were significantly stronger than females and older patients ( $p < 0,05$ ), but none of the ratios differed significantly between any sex or age cluster ( $p > 0,05$ ). The flexion/extension ratio showed a 1:2 relation, and the rotation and lateral flexion ratios demonstrated

a 1:1 relation, but all ratios varied markedly (30–50%). **Conclusions.** The demonstrated data represented a special norm for sex and age clustered low back pain patients assessed with the recent Myoline® test device. The markedly varying peak forces and their ratios underlined the individual diversity and heterogeneous state of functional capacities within low back pain patients.

**Keywords**

Trunk muscles · Lumbago · Normative data · Strength training · Antagonist ratios

wurde die Normalverteilung verifiziert (Kolmogorov-Smirnov-Test). Eine zweifaktorielle Varianzanalyse (F-Wert, *p*-Wert) mit dem Effektstärkemaß  $\eta^2_{part}$  (partielles Eta<sup>2</sup>) für die Faktoren Geschlecht (Frauen vs. Männer) und Altersklasse (18–35 Jahre vs. 36–50 Jahre vs. 51–65 Jahre) mit Post-hoc-Testung (Bonferroni-Prozedur für Mehrfachtestungen) sowie deren Interaktion wurde berechnet, um systematische Effekte zu identifizieren (SPSS 22, IBM-SPSS, Ar-

monk, VA, USA). Signifikanz wurde akzeptiert bei  $p \leq 0,05$ .

**Ergebnisse**

Die Rumpfkraftwerte wurden deskriptiv sowohl für die absoluten Kräfte (N) als auch für die auf das Körpergewicht relativierten Kräfte (N/kg) und deren Antagonistenquotienten tabellarisch separat für Frauen und Männer aller Altersklassen (18–35 Jahre, 36–50 Jahre, 51–65 Jahre) aufbereitet (Tab. 2, 3, 4 und 5) und

stehen somit für Vergleiche mit anderen Datensätzen zur Verfügung.

Die für die Rückenschmerzbeschwerdediagnostik und ein Verlaufsmonitoring besonders interessierenden Quotienten aus Rumpfbeugung und Rückenstreckung (Flex/Ex %) wurden dazu graphisch illustriert (Abb. 2) und verdeutlichen, dass das Verhältnis von Beugung zu Streckung in der konkreten biomechanischen Umsetzung der aktuellen Myoline®-Messkette bei Rückenschmerzpatienten aller Altersklassen



Tab. 2 Deskriptive Statistiken – Rückenschmerzpatienten (Frauen; nicht auf das Körpergewicht relativiert)									
		<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SEM</i>	95 % Konfidenzintervall		<i>Min</i>	<i>Max</i>
						Untergrenze	Obergrenze		
Extension (N)	18–35 Jahre	40	530,4	202,4	32,0	465,6	595,1	221	1196
	36–50 Jahre	189	469,3	206,4	15,0	439,7	498,9	109	1205
	51–65 Jahre	312	462,2	210,8	11,9	438,7	485,7	47	1246
	Total	541	469,7	209,0	9,0	452,1	487,4	47	1246
Flexion (N)	18–35 Jahre	40	268,5	111,9	17,7	232,7	304,3	75	547
	36–50 Jahre	189	202,2	94,0	6,8	188,8	215,7	53	490
	51–65 Jahre	312	205,6	93,3	5,3	195,2	216,0	43	570
	Total	541	209,1	96,3	4,1	201,0	217,2	43	570
Lateralflexion links (N)	18–35 Jahre	40	382,7	136,3	21,6	339,1	426,2	118	696
	36–50 Jahre	189	326,5	139,6	10,2	306,5	346,5	28	850
	51–65 Jahre	312	313,7	127,3	7,2	299,5	327,8	80	842
	Total	541	323,2	133,3	5,7	312,0	334,5	28	850
Lateralflexion rechts (N)	18–35 Jahre	40	417,3	163,6	25,9	365,0	469,7	122	838
	36–50 Jahre	189	356,4	158,5	11,5	333,7	379,2	64	954
	51–65 Jahre	312	326,1	130,4	7,4	311,6	340,7	54	952
	Total	541	343,5	145,3	6,2	331,2	355,7	54	954
Rotation links (N)	18–35 Jahre	40	213,8	96,9	15,3	182,8	244,8	70	417
	36–50 Jahre	189	186,0	79,2	5,8	174,6	197,4	42	560
	51–65 Jahre	312	170,5	83,7	4,7	161,2	179,8	38	540
	Total	541	179,1	84,0	3,6	172,0	186,2	38	560
Rotation rechts (N)	18–35 Jahre	40	210,1	101,0	16,0	177,8	242,4	68	500
	36–50 Jahre	189	182,2	85,6	6,2	169,9	194,4	45	657
	51–65 Jahre	312	171,7	87,0	4,9	162,0	181,4	46	628
	Total	541	178,2	88,1	3,8	170,8	185,6	45	657

*n* Stichprobengröße, *M* arithmetisches Mittel, *SD* Standardabweichung, *SEM* Standardfehler, *Min* Minimum, *Max* Maximum

und beider Geschlechter im statistischen Mittel ungefähr 1 zu 2 betrug (ca. 50 %), allerdings mit individuell erheblichen Streuungen (Tab. 4 und 5). Die Quotienten für die Lateralflexion (li/re) und die Rumpfrotation (li/re) bildeten im statistischen Mittel eine annähernde Symmetrie (1:1 Relation) ab, ebenfalls mit einer großen Streuung (SD), die auf individuell stark variierende Abweichungen von der Symmetrie bei den Rückenschmerzpatienten hinwies (Tab. 4 und 5).

Eine zweifaktorielle Varianzanalyse (Geschlecht × Altersklassen) wurde für die Relativkräfte und deren Quotienten gerechnet und ergab folgende Effekte:

Für die auf das Körpergewicht relativierte Rückenstreckkraft besteht eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Geschlecht und Alter ( $F = 3,48$ ;  $p = 0,031$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,01$ ). Die Männer aller Altersklassen erwiesen sich im Mittel um 2,5 N/kg stärker als die Frauen al-

ter Altersklassen (9,1 N/kg vs. 6,6 N/kg;  $F = 35,61$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,05$ ). Gleichzeitig gab es einen signifikanten Alterseffekt ( $F = 7,20$ ;  $p = 0,001$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,02$ ). Die Älteren beiderlei Geschlechts (51–65 Jahre: 7,0 N/kg) waren dabei signifikant schwächer als die Jüngeren (18–35 Jahre: 8,9 N/kg;  $p = 0,003$ ) und die mittlere Altersgruppe (36–50 Jahre: 7,8 N/kg;  $p = 0,044$ ).

Für die auf das Körpergewicht relativierte Rumpfbeugekraft war die Interaktion zwischen den Faktoren Geschlecht und Alter nicht signifikant ( $F = 2,62$ ;  $p = 0,074$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,008$ ). Allerdings blieben die Unterschiede zwischen den Geschlechtern (Männer 3,6 N/kg vs. Frauen 3,1 N/kg;  $F = 8,51$ ;  $p = 0,004$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,013$ ) und den Altersklassen beider Geschlechter ( $F = 3,94$ ;  $p = 0,020$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,012$ ) als Haupteffekte signifikant. Für den Quotienten (%) aus Flexion (N/kg) und Extension (N/kg) wurde weder ein Geschlechterunterschied

(Frauen 51 % vs. Männer 47 %;  $F = 0,48$ ;  $p = 0,616$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,001$ ) noch ein Alterseffekt ( $F = 0,15$ ;  $p = 0,864$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,000$ ) gefunden.

Für die Lateralflexion war die Interaktion beidseits (N/kg) zwischen den Faktoren Geschlecht und Alter nicht signifikant (links:  $F = 0,96$ ;  $p = 0,384$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,003$ ; rechts:  $F = 0,30$ ;  $p = 0,741$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,001$ ). Auch hier blieben die Unterschiede zwischen den Geschlechtern und den Altersklassen beider Geschlechter als Haupteffekte signifikant. Für den Quotienten (%) aus Lateralflexion links und rechts (N/kg) wurde wie beim Quotienten der Flexion und Extension weder ein Geschlechterunterschied (Frauen 98 % vs. Männer 104 %;  $F = 1,76$ ;  $p = 0,186$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,003$ ) noch ein Alterseffekt ( $F = 0,28$ ;  $p = 0,759$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,001$ ) gefunden.

Für die Rumpfrotation war die Interaktion beidseits (N/kg) zwischen den Faktoren Geschlecht und Alter vergleich-

Tab. 3 Deskriptive Statistiken – Rückenschmerzpatienten (Männer; nicht auf das Körpergewicht relativiert)

		n	M	SD	SEM	95% Konfidenzintervall		Min	Max
						Untergrenze	Obergrenze		
Extension (N)	18–35 Jahre	11	966,2	581,3	175,3	575,7	1356,7	241	2023
	36–50 Jahre	42	830,2	371,1	57,3	714,6	945,8	226	2001
	51–65 Jahre	84	701,0	341,8	37,3	626,8	775,2	149	1681
	Total	137	761,9	380,4	32,5	697,6	826,2	149	2023
Flexion (N)	18–35 Jahre	11	334,4	144,9	43,7	237,0	431,7	80	586
	36–50 Jahre	42	344,9	170,2	26,3	291,9	397,9	66	644
	51–65 Jahre	84	297,4	115,4	12,6	272,3	322,4	75	566
	Total	137	314,9	137,5	11,7	291,7	338,1	66	644
Lateralflexion links (N)	18–35 Jahre	11	544,6	251,8	75,9	375,5	713,8	221	1036
	36–50 Jahre	42	510,0	186,5	28,8	451,9	568,1	103	1021
	51–65 Jahre	84	447,4	185,2	20,2	407,2	487,6	98	1245
	Total	137	474,4	193,2	16,5	441,7	507,0	98	1245
Lateralflexion rechts (N)	18–35 Jahre	11	575,2	335,1	101,0	350,1	800,3	173	1186
	36–50 Jahre	42	521,8	239,5	36,9	447,2	596,4	121	1222
	51–65 Jahre	84	461,4	160,8	17,5	426,5	496,2	104	1050
	Total	137	489,0	206,7	17,7	454,1	523,9	104	1222
Rotation links (N)	18–35 Jahre	11	381,1	173,7	52,4	264,4	497,8	84	715
	36–50 Jahre	42	365,0	165,1	25,5	313,5	416,5	108	778
	51–65 Jahre	84	314,7	125,1	13,7	287,5	341,8	110	652
	Total	137	335,4	143,9	12,3	311,1	359,7	84	778
Rotation rechts (N)	18–35 Jahre	11	388,3	170,2	51,3	274,0	502,6	96	679
	36–50 Jahre	42	362,5	152,0	23,4	315,1	409,8	123	691
	51–65 Jahre	84	318,8	150,5	16,4	286,1	351,5	63	712
	Total	137	337,8	153,4	13,1	311,9	363,7	63	712

n Stichprobengröße, M arithmetisches Mittel, SD Standardabweichung, SEM Standardfehler, Min Minimum, Max Maximum

bar zur Lateralflexion nicht signifikant (links:  $F = 1,09$ ;  $p = 0,339$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,003$ ; rechts:  $F = 1,07$ ;  $p = 0,344$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,003$ ). Ebenfalls blieben die Unterschiede zwischen den Geschlechtern und den Altersklassen beider Geschlechter als Haupteffekte signifikant. Für den Quotienten (%) aus Rumpffrotation links und rechts (N/kg) wurde wie bei den Quotienten der Flexion und Extension und der Lateralflexion weder ein Geschlechterunterschied (Frauen 108 % vs. Männer 104 %;  $F = 0,57$ ;  $p = 0,450$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,001$ ) noch ein Alterseffekt ( $F = 0,41$ ;  $p = 0,664$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0,001$ ) gefunden (Tab. 4 und 5).

## Diskussion

Nach Müller [11] sollte bei Rückenschmerzsyndromen ergänzend zur Strukturdiagnostik auch eine Funktionsdiagnostik durchgeführt werden. Isometrische Krafttestungen wurden als angemessener Kompromiss für eine

zuverlässige und valide Testung der Rumpfmuskelkraft beschrieben [12]. Die Rumpfmuskelkraftkennwerte der Rückenschmerzpatienten wurden in dieser Arbeit sowohl in ihren Absolutwerten (N) (Tab. 2 und 3) als auch in den auf das Körpergewicht relativierten Kennwerten (N/kg) (Tab. 4 und 5) präsentiert. Die erhobenen Daten repräsentieren eine Spezialnorm für die hier untersuchte Kohorte von Rückenschmerzpatienten [7]. Grundsätzlich wurden für alle Patientencluster in allen Merkmalen große Streuungen beobachtet (30–50 %), was im Einklang mit früheren Arbeiten als Ausdruck für die Diversität der Schmerzpatienten und die resultierende Heterogenität innerhalb des Rückenschmerzpatienten interpretiert wird [5].

Zur Einordnung der Befunde dürften körpergewichtsrelativierte Daten grundsätzlich eine bessere Vergleichbarkeit zu anderen Studien oder Datensätzen er-

möglichen, weil hier die individuellen anthropometrischen Verhältnisse besser berücksichtigt werden. Denner hatte sich in seinen grundlegenden Arbeiten jedoch für eine Relativierung auf Teilkörpermassen entschieden, was inhaltlich vielleicht valider ist, für Studienvergleiche jedoch Einschränkungen birgt [6, 8]. Im Vergleich zu Testungen einzelner Dimensionen gelten intraindividuell errechnete Quotienten aus antagonistischen Testungen (Flexion/Extension, bzw. links/rechts in der Lateralflexion und Rumpffrotation) als robustere Kennwerte, weil sie Personenmerkmale bei den Testungen besser berücksichtigen [4]. In dieser Arbeit wurden daher Quotienten anhand der körpergewichtsrelativierten Kraftkennwerte errechnet.

Trotz der Problematik der Testgerätespezifität sind direkte Vergleiche der aktuell erhobenen Rückenschmerzpatientendaten mit Literaturbefunden beschwerdefreier Personen für die ab-

Tab. 4 Deskriptive Statistiken – Rückenschmerzpatienten (Frauen; auf das Körpergewicht relativiert)									
		<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SEM</i>	95% Konfidenzintervall		<i>Min</i>	<i>Max</i>
						Untergrenze	Obergrenze		
Extension (N/kg)	18–35 Jahre	40	7,3	2,9	0,5	6,3	8,2	2,6	15,8
	36–50 Jahre	189	6,3	2,9	0,2	5,9	6,7	1,4	18,0
	51–65 Jahre	312	6,3	2,9	0,2	6,0	6,6	0,5	17,2
	Total	541	6,4	2,9	0,1	6,1	6,6	0,5	18,0
Flexion (N/kg)	18–35 Jahre	40	3,7	1,7	0,3	3,1	4,2	0,9	8,0
	36–50 Jahre	189	2,7	1,4	0,1	2,5	2,9	0,5	7,4
	51–65 Jahre	312	2,8	1,3	0,1	2,6	2,9	0,5	7,1
	Total	541	2,8	1,4	0,1	2,7	2,9	0,5	8,0
Lateralflexion links (N/kg)	18–35 Jahre	40	5,2	1,8	0,3	4,6	5,8	1,5	8,9
	36–50 Jahre	189	4,4	2,0	0,1	4,1	4,7	0,4	11,1
	51–65 Jahre	312	4,2	1,6	0,1	4,0	4,4	1,1	9,4
	Total	541	4,3	1,8	0,1	4,2	4,5	0,4	11,1
Lateralflexion rechts (N/kg)	18–35 Jahre	40	5,6	2,2	0,3	4,9	6,3	1,7	10,7
	36–50 Jahre	189	4,8	2,1	0,2	4,5	5,1	1,0	12,9
	51–65 Jahre	312	4,4	1,7	0,1	4,2	4,6	0,7	10,9
	Total	541	4,6	1,9	0,1	4,5	4,8	0,7	12,9
Rotation links (N/kg)	18–35 Jahre	40	2,8	1,1	0,2	2,5	3,2	0,9	5,3
	36–50 Jahre	189	2,5	1,0	0,1	2,3	2,6	0,6	5,9
	51–65 Jahre	312	2,3	1,0	0,1	2,2	2,4	0,5	6,5
	Total	541	2,4	1,1	0,0	2,3	2,5	0,5	6,5
Rotation rechts (N/kg)	18–35 Jahre	40	2,8	1,2	0,2	2,4	3,2	0,7	5,8
	36–50 Jahre	189	2,4	1,1	0,1	2,3	2,6	0,6	6,0
	51–65 Jahre	312	2,3	1,1	0,1	2,2	2,4	0,6	6,5
	Total	541	2,4	1,1	0,0	2,3	2,5	0,6	6,5
Quotient Flexion/Extension (%)	18–35 Jahre	40	53,7	20,3	3,2	47,2	60,2	13,0	98,8
	36–50 Jahre	189	48,4	26,1	1,9	44,7	52,2	7,0	232,0
	51–65 Jahre	312	51,1	31,9	1,8	47,5	54,6	8,1	329,8
	Total	541	50,3	29,2	1,3	47,9	52,8	7,0	329,8
Quotient Lateralflexion links/rechts (%)	18–35 Jahre	40	96,4	28,9	4,6	87,2	105,7	42,9	216,4
	36–50 Jahre	189	96,6	33,2	2,4	91,9	101,4	39,4	238,3
	51–65 Jahre	312	101,0	36,0	2,0	97,0	105,0	38,2	301,9
	Total	541	99,1	34,6	1,5	96,2	102,0	38,2	301,9
Quotient Rotation links/rechts (%)	18–35 Jahre	40	105,5	27,3	4,3	96,8	114,3	51,2	175,0
	36–50 Jahre	189	110,6	43,5	3,2	104,3	116,8	37,0	318,7
	51–65 Jahre	312	106,3	37,9	2,1	102,1	110,5	41,9	257,8
	Total	541	107,8	39,3	1,7	104,4	111,1	37,0	318,7

*n* Stichprobengröße, *M* arithmetisches Mittel, *SD* Standardabweichung, *SEM* Standardfehler, *Min* Minimum, *Max* Maximum

soluten Kraftkennwerte in der Rückenstreckung tatsächlich möglich. Die 2014 beschriebenen Referenzwerte beschwerdefreier Personen im Alter zwischen 18 und 40 Jahren wurden zwar mit einem Myoline®-Kraftmesssystem etwas anderer Bauart erhoben; die biomechanischen Rahmenbedingungen in der Testung der Rückenstreckkraft unterschieden sich jedoch nicht von denen der aktuellen Datenerhebung [9]. Beschrieben wurden Rückenstreckkräfte von 874 N ( $\pm$  251)

für beschwerdefreie Frauen [9], während hier für Rückenschmerzpatientinnen der Altersklasse bis 35 Jahre 530 N ( $\pm$  202) ermittelt wurden. Die Größenordnung einer auf 60% reduzierten Funktionskapazität von Rückenpatienten in Relation zu Gesunden wurde auch von McNeil et al. [4] beschrieben. Davon abweichend ergab sich für die männlichen jüngeren Patienten allerdings eine weniger stark eingeschränkte Funktionskapazität von 72%, wenn die hier

ermittelten 966 N ( $\pm$  581) der gesunden Referenz mit 1343 N ( $\pm$  246) gegenübergestellt werden [9]. Besondere Beachtung verdient die Heterogenität der Patientendaten. Literaturkonform zeigte sich in den Rückenschmerzkohorten eine zum Teil erheblich größere Streuung in der Kraftentfaltung – bei jüngeren Patientinnen 38%, bei jüngeren Patienten sogar 60% – als bei beschwerdefreien Referenzpersonen (Frauen 30%, Männer 18%) [5, 9].



Tab. 5 Deskriptive Statistiken – Rückenschmerzpatienten (Männer; auf das Körpergewicht relativiert)

		n	M	SD	SEM	95 % Konfidenzintervall		Min	Max
						Untergrenze	Obergrenze		
Extension (N/kg)	18–35 Jahre	11	10,5	5,5	1,7	6,8	14,1	2,5	17,3
	36–50 Jahre	42	9,2	4,1	0,6	8,0	10,5	2,6	20,8
	51–65 Jahre	84	7,6	3,5	0,4	6,9	8,4	1,7	16,6
	Total	137	8,4	4,0	0,3	7,7	9,0	1,7	20,8
Flexion (N/kg)	18–35 Jahre	11	3,7	1,6	0,5	2,7	4,8	1,0	7,2
	36–50 Jahre	42	3,8	1,8	0,3	3,2	4,4	0,9	6,8
	51–65 Jahre	84	3,3	1,4	0,2	3,0	3,6	0,9	7,1
	Total	137	3,5	1,5	0,1	3,2	3,7	0,9	7,2
Lateralflexion links (N/kg)	18–35 Jahre	11	5,9	2,2	0,7	4,4	7,4	2,8	9,4
	36–50 Jahre	42	5,6	2,0	0,3	5,0	6,2	1,3	10,6
	51–65 Jahre	84	4,9	2,1	0,2	4,5	5,4	1,1	12,7
	Total	137	5,2	2,1	0,2	4,9	5,6	1,1	12,7
Lateralflexion rechts (N/kg)	18–35 Jahre	11	6,2	3,1	0,9	4,1	8,3	2,4	11,9
	36–50 Jahre	42	5,7	2,5	0,4	4,9	6,5	1,5	14,0
	51–65 Jahre	84	5,1	1,7	0,2	4,7	5,5	1,2	10,7
	Total	137	5,4	2,2	0,2	5,0	5,7	1,2	14,0
Rotation links (N/kg)	18–35 Jahre	11	4,2	1,5	0,4	3,2	5,2	0,8	6,1
	36–50 Jahre	42	4,0	1,8	0,3	3,5	4,6	1,1	8,6
	51–65 Jahre	84	3,5	1,3	0,1	3,2	3,8	1,1	6,7
	Total	137	3,7	1,5	0,1	3,4	4,0	0,8	8,6
Rotation rechts (N/kg)	18–35 Jahre	11	4,3	1,5	0,5	3,3	5,3	0,9	6,5
	36–50 Jahre	42	4,0	1,6	0,3	3,5	4,5	1,2	7,6
	51–65 Jahre	84	3,5	1,6	0,2	3,1	3,8	0,7	7,5
	Total	137	3,7	1,6	0,1	3,4	4,0	0,7	7,6
Quotient Flexion/Extension (%)	18–35 Jahre	11	45,9	29,4	8,9	26,2	65,7	16,9	108,0
	36–50 Jahre	42	45,7	27,0	4,2	37,3	54,1	14,0	151,6
	51–65 Jahre	84	48,9	22,2	2,4	44,0	53,7	15,4	113,0
	Total	137	47,7	24,2	2,1	43,6	51,8	14,0	151,6
Quotient Lateralflexion links/rechts (%)	18–35 Jahre	11	106,3	38,4	11,6	80,5	132,1	61,6	206,9
	36–50 Jahre	42	107,8	47,0	7,3	93,2	122,5	45,7	290,9
	51–65 Jahre	84	98,2	25,6	2,8	92,7	103,8	30,6	174,0
	Total	137	101,8	34,6	3,0	96,0	107,7	30,6	290,9
Quotient Rotation links/rechts (%)	18–35 Jahre	11	97,8	13,5	4,1	88,7	106,9	74,8	124,1
	36–50 Jahre	42	105,9	35,6	5,5	94,8	117,0	53,5	216,9
	51–65 Jahre	84	107,3	32,1	3,5	100,3	114,2	61,4	191,4
	Total	137	106,1	32,1	2,7	100,6	111,5	53,5	216,9

n Stichprobengröße, M arithmetisches Mittel, SD Standardabweichung, SEM Standardfehler, Min Minimum, Max Maximum

Obwohl McNeil et al. [4] von einer eingeschränkten Funktionskapazität bei Rückenschmerzpatienten von annähernd 60 % in allen drei Dimensionen (sagittal, frontal, axial) berichteten, schlossen sie aufgrund ihres intraindividuell ermittelten Quotienten (Flexion/Extension) darauf, dass insbesondere die Rückenstrecker bei Patienten defizitär waren, wie dies später auch von Mayer et al. [5] betont wurde. Aktuelle magnetresonanztomographische Befunde

atrophierter und verfetteter paravertebraler Rückenmuskeln könnten diesen funktionellen Befunden ein strukturelles Korrelat zuordnen [13]. Hieraus wäre abzuleiten, dass die Funktionskapazität in der Rumpfflexion, -rotation und -lateralflexion weniger eingeschränkt sein sollte.

Für den klinischen Nutzen kommt erschwerend hinzu, dass die gruppenstatistisch ermittelte zentrale Tendenz nur als grober Anhaltspunkt für den Dekon-

ditionierungsstatus von Rückenschmerzpatienten gelten darf. Die Konfidenzintervalle für die Lage des Mittelwertes illustrieren, dass der Quotient für Patientinnen zwar mit 54 % angegeben wird, mit einer 95%igen Wahrscheinlichkeit aber auch im Intervall zwischen 47 % und 60 % liegen kann (Abb. 2). Für die sehr kleine Stichprobe der jüngeren männlichen Patienten betrug der Quotient 46 %, könnte mit 95%iger Wahrscheinlichkeit

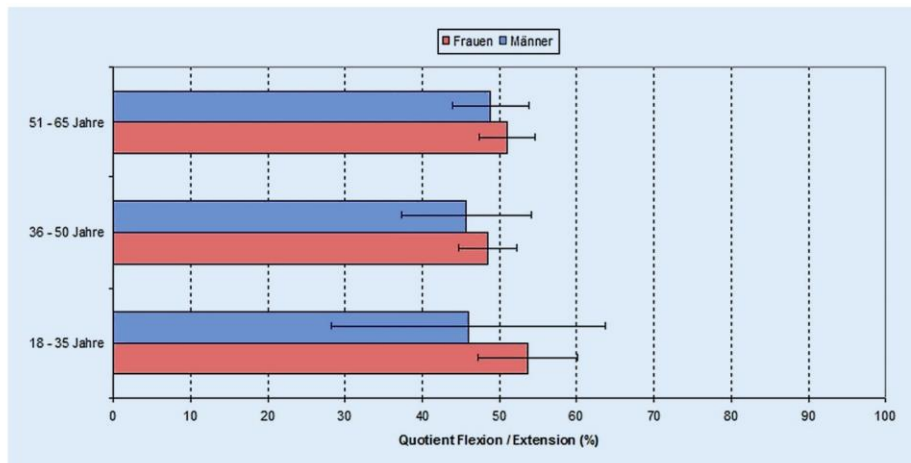


Abb. 2 ▲ Quotient aus Rumpfbeugung (Flexion) und Rückenstreckung (Extension) für Männer und Frauen (Mittelwert  $\pm$  95 % Konfidenzintervall)

in der vorliegenden Erhebung aber auch 26–66 % betragen (Tab. 4 und 5).

Eine Gegenüberstellung der aktuellen Daten jüngerer weiblicher Patienten für die Rumpfbeugung – im Mittel 269 N – mit Referenzdaten beschwerdefreier Frauen – im Mittel 263 N [9] – ergäbe eine Funktionskapazität der Patientinnen von 103 % – also keinerlei Einschränkung. Auch wenn sich bei männlichen Patienten im korrespondierenden Vergleich eine plausible reduzierte Funktionskapazität von 71 % ergäbe (Patienten 344 N vs. Gesunde 470 N), sollte dieser Vergleich als unzulässig betrachtet werden, da die variierenden Hebelverhältnisse der Testgeräte bauartbedingt in der Rumpfbeugung zu unterschiedlichen maximal möglichen Drehmomenten führen müssen [10]. Dies mag als Hinweis dafür dienen, dass Vergleiche absoluter Kraftkennwerte zwischen Datensätzen nicht baugleicher Testapparaturen in der isometrischen Kraftdiagnostik nicht als valide akzeptiert werden sollten!

### Limitationen

Die Teilgruppen der 18- bis 35-jährigen Frauen ( $n=40$ ) und insbesondere der jungen Männer ( $n=11$ ) waren im Ver-

gleich zu den anderen Altersklassenstichproben deutlich kleiner, was Einfluss auf die statistischen Analysen haben könnte. Dieses Missverhältnis erklärt sich dadurch, dass die hier inkludierten Patienten während einer stationären Rehabilitationsmaßnahme untersucht wurden, wobei jüngere Patienten und Patientinnen naturgemäß deutlich weniger repräsentiert waren.

### Fazit für die Praxis

- Jedes spezifische Testgerät zur Erfassung der Rumpfkraft benötigt eigene spezifische Referenzdaten (Majoritätsnormen) und ggf. Spezialnormen.
- Die vorliegenden Daten repräsentieren eine Spezialnorm für altersklassendifferenzierte Rückenschmerzpatienten und -patientinnen mit dem aktuellen Myoline®-Testsystem, sodass die vorliegenden Daten zur klinischen Einordnung von Patientendaten im Rehabilitationsprozess als Vergleichswerte zur Verfügung stehen.
- Männer waren naturgemäß stärker als Frauen; Ältere schwächer als Jüngere.

- Bei Rückenschmerzpatienten wurde ein Verhältnis von etwa 1:2 im Quotienten aus Flexion und Extension alters- und geschlechtsübergreifend ermittelt. Die Quotienten für Rotation/Lateralflexion (links/rechts) bildeten eine annähernde Symmetrie (1:1) ab.
- Die großen Streuungen in allen Kennwerten, inklusive der Quotienten, bildeten die individuelle Diversität und Heterogenität innerhalb des Rückenschmerzpatienten ab.

### Korrespondenzadresse



**Aki Pietsch**  
Sportprävention,  
Sportrehabilitation, BG  
Klinikum Hamburg  
Bergedorfer Str. 10,  
21033 Hamburg, Deutschland  
a.pietsch@bkg-hamburg.de

### Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** A. Pietsch, J. Schröder, R. Reer, C. Edler, A. Kutasow und H. Riepenhof geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Originalien

Alle beschriebenen Untersuchungen am Menschen oder an menschlichem Gewebe wurden mit Zustimmung der zuständigen Ethikkommission, im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt. Von allen beteiligten Patienten liegt eine Einverständniserklärung vor. Alle Patienten, die über Bildmaterial oder anderweitige Angaben innerhalb des Manuskripts zu identifizieren sind, haben hierzu ihre schriftliche Einwilligung gegeben.

## Literatur

1. Morgan FP, King T (1957) Primary instability of lumbar vertebrae as a common cause of low back pain. *J Bone Joint Surg* 39B:6–22
2. Flint MM (1958) Effect of increasing back and abdominal muscle strength on low back pain. *Res Q* 29:160–171
3. Cady LD, Bischoff DP, O'Connell ER et al (1979) Strength fitness and subsequent back injuries in firefighters. *J Occup Med* 21:269–272
4. McNeill T, Warwick D, Andersson G et al (1980) Trunk strengths in attempted flexion, extension, and lateral bending in healthy subjects and patients with low-back disorders. *Spine* 5/6:529–538
5. Mayer TG, Smith SS, Keeley J et al (1985) Quantification of lumbar function. Part 2: Sagittal plain trunk strength in chronic low back pain patients. *Spine* 10:765–772
6. Denner A (1997) *Muskuläre Profile der Wirbelsäule*. Springer, Berlin Heidelberg New York
7. Wydra G (2004) Zur Problematik von Normen in der Bewegungstherapie. *Z Physiother* 56:2280–2289
8. Schifferdecker-Hoch F, Denner A (1999) Mobilitäts-, Muskelkraft- und Muskelleistungsfähigkeitsparameter der Wirbelsäule. Alters- und geschlechtsspezifische Referenzdaten. *Man Med* 37:30–33
9. Schröder J, Braumann KM, Reer R (2014) Spinal form and function profile. Reference values for clinical use in low back pain. *Orthopade* 43:841–849
10. Kulig K, Andrews JG, Hay JG (1984) Human strength curves. *Exerc Sport Sci Rev* 12:417–466
11. Müller G (1999) Zur Evaluation von Funktionsstörungen an der Wirbelsäule. *Strukturdiagnostik versus Funktionsdiagnostik*. *Man Med* 37:18–25
12. Müller G, Hille E (1996) Muskuläre Dysbalancen im Rumpf – Möglichkeiten und Grenzen der klinischen und maschinellen Diagnostik in der Sportmedizin. *Dtsch Z Sportmed* 47:483–487
13. Russo M, Deckers K, Eldabe S (2018) Muscle Control and Non-specific Chronic Low Back Pain. *Neuromodulation* 21:1–9

### **Anhang F: Publikation 3**

Acute effects of a combined strength and endurance training rehabilitation protocol for patients in different professions with back pain

Aki Pietsch  
Jan Schröder  
Rüdiger Reer  
Christopher Edler  
Helge Riepenhof

Physikalische Medizin - Rehabilitationsmedizin - Kurortmedizin.  
2021, 31(06), 386-392.

Impact Factor 0.903

## Acute Effects of a Combined Strength and Endurance Training Rehabilitation Protocol for Patients in Different Professions with Back Pain

### Akute Auswirkungen eines kombinierten Kraft- und Ausdauertrainings für Rehabilitationspatienten mit Rückenschmerzen aus verschiedenen Berufen

#### Authors

Aki Pietsch<sup>1</sup>, Jan Schroeder<sup>2</sup>, Ruediger Reer<sup>2</sup>, Christopher Edler<sup>1</sup>, Helge Riepenhof<sup>1</sup>

#### Affiliations

- 1 Zentrum für Prävention, Sport- und Rehabilitationsmedizin, BG Klinikum Hamburg, Hamburg, Germany
- 2 Arbeitsbereich Sport- und Bewegungsmedizin, Institut für Bewegungswissenschaft, Universität Hamburg Fakultät für Erziehungswissenschaft Psychologie und Bewegungswissenschaft, Hamburg, Germany

#### Key words

strength training, endurance training, rehabilitation protokoll, back pain, different professions

#### Schlüsselwörter

Rückenschmerzen, unterschiedliche Berufe, Krafttraining, Ausdauertraining, Rehabilitationsprotokoll

received 04.02.2021

accepted 28.05.2021

online-publikation 2021

#### Bibliography

Phys Med Rehab Kuror

DOI 10.1055/a-1520-5074

ISSN 0940-6689

© 2021. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

#### Correspondence

Aki Pietsch

ZRH/Sportmedizin

BG Klinikum Hamburg

Bergedorfer Straße 10

21033 Hamburg

Germany

a.pietsch@bgk-hamburg.de

#### ABSTRACT

**Objective** The purpose of this study was to investigate the effects of a combined strength and endurance training rehabilitation protocol for patients in different professions with back pain.

**Material and Methods** 162 patients (craftsman n = 56, preschool teachers n = 45 and nurses n = 61) were included into a prospective observational study. Peak force of trunk muscles (isometric testing), endurance (PWC130) and back pain dysfunction (ODI) were assessed before (t1) and after (t2) a 3-week-period of individually tailored but not professionally clustered rehabilitation training.

**Results** The ODI (%) disability as well as all trunk muscle peak forces and aerobic endurance improved significantly in all subsamples ( $p < 0.01$ ), with the exception of the preschool teachers. They showed unaltered PWC130 values ( $p = 0.255$ ), which was in turn accompanied by a significant weight gain (+1%,  $p < 0.001$ ), while craftsmen and nurses demonstrated no changes in weight or waist circumference ( $p > 0.05$ ). But all analyses revealed great interindividual variations. Pre-post changes did not differ significantly among the profession groups ( $p > 0.05$ ).

**Conclusions** Interindividual response variations should be considered as a typical finding well known in back pain rehabilitation studies. We did not reveal benefit differences between occupational subsamples after the present combined strength and endurance training protocol. Future research should apply a randomized study design to compare the regular rehabilitation program and enriched programs including specific occupational demands.

#### ZUSAMMENFASSUNG

**Hintergrund** Ziel dieser Studie war es, die Effekte eines kombinierten Kraft- und Ausdauerrehabilitationstrainings für Patienten aus verschiedenen Berufen mit Rückenschmerzen zu untersuchen.

**Material und Methoden** 162 Patienten (Handwerker n = 56, Erzieher n = 45 und Krankenschwestern n = 61) wurden in eine

prospektive Beobachtungsstudie eingeschlossen. Die maximale Kraft der Rumpfmuskulatur (isometrische Tests), die Ausdauer (PWC130) und die Einschränkungen durch Rückenschmerzen (ODI) wurden vor (t1) und nach (t2) einem 3-wöchigen Zeitraum eines individuell zugeschnittenen, aber nicht berufsspezifisch gruppierten Kraft- und Ausdauertrainings bewertet.

**Ergebnisse** Die ODI-Ergebnisse (%) und alle Rumpfmuskelspitzenkräfte verbesserten sich in allen Kohorten signifikant ( $p < 0,01$ ), ebenso die aerobe Ausdauer mit Ausnahme der Erzieher, die unveränderte PWC130-Werte ( $p = 0,255$ ) zeigten. Dies ging wiederum mit einer signifikanten Gewichtszunahme einher (+1%,  $p < 0,001$ ), während Handwerker und Kranken-

schwestern keine Veränderungen des Gewichts oder des Tailenumfangs zeigten ( $p > 0,05$ ). Alle Analysen ergaben jedoch große interindividuelle Unterschiede. Bei den prä-post-Änderungen fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Berufsgruppen ( $p > 0,05$ ).

**Schlussfolgerungen** Wir haben interindividuell stark variierende Verbesserungen in funktionellen und konditionellen Kenngrößen ermittelt, wie es für Rückenschmerzrehabilitationsstudien typisch ist. Unterschiede zwischen den Berufsgruppen wurden nicht festgestellt. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten in randomisiert-kontrollierten Studien das reguläre Standardrehabilitationstraining vergleichen mit Programmen, die um berufsspezifische Anforderungen ergänzt sind.

## Objective

Back pain is described as the number one widespread disease in industrialized countries [1–3] and is one of the most cost-intensive diseases in these countries [4–6]. Muscular imbalances and, as a result, painful tension, overstretching and shortening of muscles and tendons are described as the main causes of back pain, especially of non-specific back pain [7–9]. Muscular imbalances are largely caused by one-sided loads and non-physiological posture patterns as well as sedentary lifestyles and obesity [10, 11]. If physical activity and weight reduction can also lead to an improvement in the pain situation what has been demonstrated earlier [12, 13], non-physiological stress and posture patterns are often due to occupational activities which, due to the specific occupational requirements, can often not or only partially be corrected [14–18].

In terms of therapy, there has been a significant change from bed rest and passive treatments to active therapy measures in recent decades [19], with the therapeutic focus on building the muscles of the back and trunk on strength training equipment to stabilize the spine [20–22]. Strength training is often embedded in back training programs [23, 24], which take into account the different loads of different professions and offer job-specific posture and movement training. While the requirements of the individual professions specifically treated kinesthetically, the basic muscle building training is not differentiated according to profession, but regularly adapted individually to the patients performance level.

The aim of this prospective observational study was to investigate whether patients from different occupational groups benefit differently from combined strength and endurance training as part of a 3-week back pain rehabilitation program.

## Material and Methods

### Design

In a prospective observational study, the clinical outcomes of back pain patients, who were diagnosed with chronic pain in the lumbar spine due to their workload after many years of work by specialists in orthopedics with an orthopedic examination and assessment of X-ray and MRI images, were monitored during their exercise program. Starting with the baseline measurements (t1), the data were

reassessed immediately after completing a 3-week training protocol (t2). After the assignment to the different professional groups, the data sets were completely anonymized. Thus, the analyzes were blinded to the statistical operator. Decoding would be possible exclusively for the head of the investigators' team.

### Subjects

In 2019 and 2020, 162 back pain patients (92 females, 70 males) (ICD10: M54.-/ICF: b28013, group 1 craftsmen,  $n = 56$  [96,6% males], group 2 preschool teachers,  $n = 45$  [13,3% males], and group 3 nurses,  $n = 61$  [16,4% males]; age  $50.9 \pm 8.8$  [26–66] years, height  $173.2 \pm 8.8$  [152–193] cm, weight  $84.3 \pm 16.1$  [51–137] kg, BMI  $28.0 \pm 4.6$  [17.1–46.2] kg/m<sup>2</sup>) were included into the study when they were actively involved in the work process and when they were able to speak and understand the German language. All participants were informed about data assessment procedures, the corresponding statistical analyses including the data handling in line with the Declaration of Helsinki in the latest version from 2013 and gave their written consent.

### Rehabilitation protocol

As part of a 3-week back pain rehabilitation program, the patients completed a 90-minute unit of muscle building training for the back and core muscles on strength training equipment every morning and a 60-minute unit every afternoon. The muscle training focused on segmental stabilization and training of the deep lumbar muscles. Additionally they performed a 30-minute unit of endurance training daily on an ergometer [25]. The intensity of the rehabilitation protocol was checked daily by sports scientists using a previously created training plan that was individually adjusted once or twice a week. Apart from these exercises, a daily profession specific educational instruction program was completed by the whole sample.

### Assessment tools

#### Isometric peak force measurement

The trunk muscle strength in the complex trunk rotation and lateral flexion as well as the back extension and the trunk flexion - each with the inclusion of all synergists - was tested while sitting under standardized conditions with the Myoline® measuring system



(Diers, Schlangenbad, Germany) as the voluntary isometric peak force (strain gauge load cell: 100 Hz, filter: moving average over 0.3 sec). In order to become familiar with the peak force assessment procedure, maximum contractions were performed prior to the strength testing. The inter-individual standardized positioning and fixation (boundary surfaces, height-adjustable shoulder element as well as hip and thigh straps) allowed a reliable peak force assessment. Reproducibility was investigated earlier revealing excellent reliability coefficients ( $ICC > 0.95$ ) [26]. Absolute peak forces (N) and the percentage increases served as outcomes for statistical analyses.

#### PWC (Physical Working Capacity)

The patients' endurance performance was assessed using a bicycle ergometry device (Kardiomed b-cycle, Proxomed, Alzenau, Germany). A Physical Working Capacity (PWC) test protocol (step test:  $\Delta + 25$  watt every 2 min) was conducted in order to determine the mechanical output at a pre-fixed heart rate threshold of 130 bpm [27]. The resulting performance [watt/kg body weight] served as an outcome for the statistical analyses.

#### ODI (Oswestry Disability Index)

The Oswestry Disability Index (ODI) was used to record the functional status and quality of life impairments of patients regarding to their back pain. The ODI queries functional restrictions in activities in daily life in 8 dimensions, which affect sitting, standing and walking as well as lifting and sleeping. In addition, the restrictions regarding pain intensity, personal hygiene, sex life (optional), social life and travel are queried. A percentage value is calculated in the evaluation, which allows a 5-stage assignment of the result from mild, moderate and severe disability to disabling or bedridden [28].

#### Statistical Methods

Data were described as mean and standard deviation. Normal distribution was tested (Kolmogorov-Smirnov test), but was not confirmed in the majority of variables. Thus, a 1-way ANOVA, which is robust in the case of a lacking normality of samples, was conducted to test group mean differences between the professions in their relative changes (%) from t1 to t2. And as normality is not required for the samples' distributions themselves but only for the differences between t1 and t2 values, a paired t-test was calculated in order to investigate significant changes, which were expressed as relative changes, additionally. Sex related group differences were investigated using the Student's t-test based on percentage values describing relative changes from t1 to t2 (IBM SPSS, Armonk, VA, USA). Significance was accepted for  $p \leq .05$ .

#### Results

An a posteriori calculated power analysis revealed a statistical power ( $1 - \beta$ ) of 81 % based on the given sample size of 162 subjects with the regular significance level of 5 % and a corresponding moderate effect size of  $f = 0.25$  to reach the respective significance level.

The ODI disability (-12 to -15 %) as well as all trunk muscle peak forces (+20–50 %) and aerobic endurance (+8–10 %) im-

proved significantly in all subsamples ( $p < 0.01$ ), with the exception of the preschool teachers (group 2). Group 2 showed statistically unaltered PWC130 values (+4 %,  $p = 0.255$ ), which was in turn accompanied by a small but statistically significant weight and BMI gain (+1 %,  $p < 0.001$ ), while craftsmen (group 1) and nurses (group 3) demonstrated no changes in their weight or waist circumference ( $p > 0.05$ ). All analyses revealed great interindividual variations among the participants in their changes from pre (t1) to post (t2) test. No significant differences were found between the profession groups in each of their relative (%) pre-post changes ( $p > 0.05$ ) (► Table 1).

In order to control probable sex related influences, comparative analyses of pre-post changes were carried for females vs. males (► Table 2). Females as well as males improved significantly ( $p < .05$ ) in all their strength values (+28 to 48 %), in their aerobic capacity (+7 and +9 %, respectively) and in their functional state (ODI -14 % and -13 %, respectively) parameters. Despite a minor weight gain (+0.3 %), constitutional parameters did not change within the male sample, while the weight gain (+0.7 %) was significant within the female subsample. For the total of all variables, the analyses revealed great interindividual variations within the sex specific subsamples, but there were no significant 'between-group' differences in the pre-post adaptations ( $p > .05$ ).

#### Discussion

The aim of this observational study was to investigate effects of a combined strength and endurance training as part of a 3-week rehabilitation measure in back pain patients from different professions and occupational background. The question was to determine, whether individuals from different professional groups would benefit differently from individually tailored standard programs, which in turn would rise a need to specify strengthening programs taking into account the occupational workload patterns.

As a main result, our data demonstrated a broad interindividual variability in the magnitude of benefits for all investigated outcomes within both males and females, as well as within all the occupational subsamples. Thus, ODI improvements after three weeks of about twelve to fifteen percent and especially strength increases of up to fifty percent were no more than the average benefit, which was comparable to earlier short-term studies investigating back pain patients [29–31]. Probably according to this heterogeneity, our data did not reveal systematic, statistically significant sex or occupation related differences in the magnitude of the benefit after completing the standard rehabilitation program in strength and disability outcome improvements.

Considering our findings with each of all subsamples demonstrating statistically and clinically relevant improvements, a general efficacy of the present rehabilitation program can be assumed. But having in mind our study design that was looking for significant group differences, this result in turn, must not be misinterpreted as evident to suppose an equality of beneficial effects for the occupational or sex-related subsamples.

Searching the literature, there is still a lack of comparative studies investigating low back pain patients from different professions aiming at the evaluation of profession specific needs in the construction of rehabilitation exercise programs. While individually

► **Table 1** Descriptive statistics, pre-post changes and group-differences of relative changes.

		t1	SD	t2	SD	pre-post differences				Anova	
						t-value	P-value	Δ (%)	SD(%)	F-value	P-value
group 1	body mass (kg)	92.6	12.7	92.8	12.5	-1.026	0.310	0.3	1.6	2.193	0.115
group 2		79.4	15.5	80.1	15.2	-4.131	<0.001	1.0	1.5		
group 3		80.2	16.5	80.6	16.3	-1.896	0.063	0.6	1.9		
group 1	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	28.9	3.4	28.9	3.3	-1.061	0.294	0.3	1.6	2.207	0.113
group 2		27.4	5.4	27.7	5.4	-4.146	<0.001	1.0	1.5		
group 3		27.7	4.9	27.8	4.8	-1.854	0.069	0.6	1.9		
group 1	waist (cm)	104.1	11.0	104.2	9.6	-0.112	0.911	0.3	4.6	1.168	0.314
group 2		99.3	12.0	98.5	11.6	1.771	0.084	-0.8	3.0		
group 3		98.1	12.7	97.8	12.3	0.859	0.394	-0.2	2.8		
group 1	PWC (watt/kg)	1.4	0.3	1.5	0.4	-3.599	0.001	7.9	14.6	1.951	0.146
group 2		1.3	0.4	1.4	0.4	-1.152	0.255	3.8	16.8		
group 3		1.2	0.3	1.3	0.3	-4.568	<0.001	10.3	18.4		
group 1	extension (N)	980.8	519.9	1165.9	468.9	-3.183	0.002	33.8	55.2	0.024	0.977
group 2		571.9	161.3	752.5	194.2	-10.363	<0.001	35.2	29.4		
group 3		618.9	194.1	794.3	205.9	-9.398	<0.001	33.5	35.1		
group 1	flexion (N)	372.9	158.3	443.4	156.2	-4.077	<0.001	37.6	73.7	1.942	0.147
group 2		257.7	55.1	305.3	76.8	-5.421	<0.001	19.6	24.8		
group 3		252.3	86.1	323.7	83.0	-6.188	<0.001	47.1	89.7		
group 1	lateral flex. left (N)	514.6	182.1	633.6	267.6	-5.445	<0.001	25.0	38.0	0.656	0.520
group 2		365.6	86.3	465.7	99.8	-9.867	<0.001	31.1	28.8		
group 3		411.8	124.4	502.8	140.0	-9.408	<0.001	25.0	22.8		
group 1	lateral flex. right (N)	572.2	234.9	659.1	253.9	-3.386	<0.001	22.3	44.6	0.850	0.429
group 2		394.2	102.1	458.3	113.6	-7.440	<0.001	19.5	23.0		
group 3		426.7	146.3	510.0	137.8	-5.162	<0.001	54.7	255.0		
group 1	rotation left (N)	376.1	143.7	464.2	151.4	-5.311	<0.001	33.1	50.2	0.962	0.384
group 2		201.2	74.8	271.3	84.1	-8.487	<0.001	39.7	40.8		
group 3		209.4	86.7	291.5	115.5	-9.834	<0.001	45.1	47.5		
group 1	rotation right (N)	386.5	154.5	497.6	163.4	-6.201	<0.001	41.4	52.8	0.875	0.419
group 2		207.6	84.3	281.1	90.2	-9.666	<0.001	41.5	32.8		
group 3		216.1	84.2	309.1	116.7	-10.037	<0.001	51.1	45.6		
group 1	ODI (%)	32.2	9.4	28.0	9.2	4.852	<0.001	-11.5	18.0	0.474	0.623
group 2		38.4	12.4	31.3	7.6	3.958	<0.001	-14.9	18.6		
group 3		36.0	9.7	29.5	7.4	5.808	<0.001	-14.8	23.3		

Electronic reprint for personal use

tailored exercise programs were reported to be advantageous, there are no comparable international low back pain exercise program recommendations for patients coming from different professions [32], although there are studies reporting profession specific prevalences [33–35] and occupational-related low back pain causing factors [36–38].

Referring to sex-related differences of beneficial effects, our data were in line with the results of a recent review article pointing out that typically no systematic and statistically significant gender or age related differences in the rehabilitation outcomes were observed after various exercise programs [39].

In fact, our rehabilitation program was composed of high-volume strengthening units accompanied by aerobic bicycle ergometer training and a daily profession specific educational instruction program as it was recommended for non-specific chronic low back pain patients [39]. As far as there are no adverse findings and taking into account the lacking literature evidence for a need to distinguish between different occupational background demands, it appears appropriate to maintain with these standard care procedures bearing advantages for the practical organization of the in-patient rehabilitation in view of the constitution of training groups that were composed regardless of their occupational background.



► **Table 2** Sex related descriptive statistics, pre-post changes and group-differences of relative changes.

		t1	SD	t2	SD	pre-post differences			between group differences		
						$\Delta$ t1-t2 (%)	t-value	p-value	$\Delta$ of $\Delta$ (%)	t-value	p-value
body mass (kg)	females	77.5	15.4	78.0	15.1	0.7	-3.963	<0.000	0.4	1.452	0.149
	males	93.2	12.1	93.5	12.0	0.3	-1.433	0.156			
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	females	27.3	5.3	27.5	5.2	0.7	-3.898	<0.000	0.4	1.455	0.148
	males	28.9	3.4	29.0	3.4	0.3	-1.425	0.159			
waist (cm)	females	97.7	12.7	97.2	12.3	-0.4	1.550	0.125	-0.5	-0.879	0.381
	males	104.2	10.4	104.0	9.2	0.1	0.320	0.750			
PWC (watt/kg)	females	1.25	0.33	1.32	0.32	7.0	-3.511	0.001	-1.5	-0.564	0.573
	males	1.41	0.33	1.52	0.36	8.5	-4.065	<0.000			
extension (N)	females	589.0	184.4	767.3	192.2	35.9	-12.722	<0.000	4.3	0.642	0.522
	males	917.5	485.8	1100.2	452.5	31.7	-3.891	<0.000			
flexion (N)	females	251.2	79.7	306.3	72.1	32.4	-7.676	<0.000	-8.8	-0.729	0.467
	males	353.7	146.3	430.4	149.1	41.2	-5.024	<0.000			
lateral flex. left (N)	females	383.8	112.0	476.6	124.0	28.0	-11.953	<0.000	3.0	0.620	0.536
	males	501.1	170.0	618.0	246.2	25.0	-6.607	<0.000			
lateral flex. right (N)	females	408.8	130.5	480.6	121.7	42.4	-6.660	0.001	20.0	0.792	0.430
	males	545.8	223.3	634.6	243.8	22.3	-4.207	<0.000			
rotation left (N)	females	196.9	71.1	266.8	85.9	40.1	-12.816	<0.000	1.5	0.196	0.845
	males	353.9	145.4	449.1	152.1	38.6	-6.713	<0.000			
rotation right (N)	females	205.3	80.5	285.2	96.0	47.3	-12.276	<0.000	5.1	0.709	0.479
	males	361.2	152.5	473.4	165.4	42.2	-7.584	<0.000			
ODI (%)	females	37.2	9.6	31.0	8.1	-14.4	7.203	<0.000	-1.7	-0.515	0.607
	males	32.9	11.5	27.4	7.9	-12.7	4.428	<0.000			

### Limitations

Due to the recruitment framework of low back pain patients in a clinical in-patient rehabilitation setting, a selection bias might have limited our findings. Samples were constituted depending on the patients' profession. The content of the rehabilitation program had to follow strict institutional guidelines. Modifications were prohibited. Thus, a randomization of concurrent treatments was not possible.

Despite a sample size of greater than 150 patients, we cannot rule out that our investigation was underpowered as we failed to achieve a desirable test power of 90%. Moreover, the widely varying interindividual response to the rehabilitation program among the patients might have affected our statistical decisions.

### Conclusions

In line with the literature, we obtained widely varying improvements of functional impairments and muscle strength constraints among the respondents. We did not reveal systematic, statistically significant differences in those improvements between sexes or occupational subsamples.

For a better understanding of occupational needs, future research should investigate the standard care of individually tailored

rehabilitation programs in comparison to modified programs emphasizing occupational demands in randomized clinical trials.

### Ethical Considerations

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial or non-for-profit sectors. The approval of the responsible ethics committee of the University Hamburg was given. All therapeutic content and testing were ethically harmless measures that are internationally certified and are part of the standard care package for back pain patients. All patients were informed about the clinical measures and the evaluation of the data and agreed in writing to the utilization of their anonymous data. The evaluation was carried out in accordance with the 2013 Helsinki Declaration in its current version of 2013 (World Medical Association, 2013).

### Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

## References

- [1] Oratsch C, Pipam W, Köstenberger M et al. Treatment for chronic back pain? Active multimodal, interdisciplinary pain therapy vs physiotherapy-physical therapy for chronic back pain. *Schmerz* 2019; 33: 337–346. doi:10.1007/s00482-019-0379-x
- [2] Fortunati M, Rossi-Mossuti F, Muroi C. Everyone Has Low Back Pain: Degenerative Lumbar Spinal Disorders and Their Treatment Options. *Praxis* 2020; 109: 87–95. doi:10.1024/1661-8157/a003380
- [3] Koelsing D, Kieselbach K, Bozzaro C. Chronic pain and society: Sociological analysis of a complex interconnection. *Schmerz* 2019; 33: 220–225. doi:10.1007/s00482-019-0361-7
- [4] Olafsson G, Jonsson E, Fritzell P et al. Cost of low back pain: results from a national register study in Sweden. *Eur Spine J* 2018; 27: 2875–2881. doi:10.1007/s00586-018-5742-6
- [5] Urits I, Burshtein A, Sharma M et al. Low back pain, a comprehensive review: pathophysiology, diagnosis, and treatment. *Curr Pain Headache Rep* 2019; 0: 97430555555556. doi:10.1007/s11916-019-0757-1
- [6] Kim LH, Vail D, Azad TD et al. Expenditures and health care utilization among adults with newly diagnosed low back and lower extremity pain. *JAMA Netw Open* 2019; 2: e193676. doi:10.1001/jamanetworkopen.2019.3676
- [7] Hodges PW, Danneels L. Changes in structure and function of the back muscles in low back pain: different time points, observations, and mechanisms. *J Orthop Sports Phys Ther* 2019; 49: 464–476. doi:10.2519/jospt.2019.8827
- [8] Hug F, Tucker K. Muscle Coordination and the Development of Musculoskeletal Disorders. *Exerc Sport Sci Rev* 2017; 45: 201–208. doi:10.1249/JES.0000000000000122
- [9] Gomes-Neto M, Lopes JM, Conceição CS et al. Stabilization exercise compared to general exercises or manual therapy for the management of low back pain: A systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport* 2017; 23: 136–142. doi:10.1016/j.ptsp.2016.08.004
- [10] Janda V, Frank C, Liebenson C. Evaluation of muscular imbalance. In: Liebenson C, Hrsg. *Rehabilitation of the spine: a practitioner's manual*. Baltimore: Williams & Wilkins; 1996: 97–113. doi:10.1016/j.ptsp.2007.11.002
- [11] Jung SH, Park DS. Reliability and Validity of the Measurement of Pelvic Movement in Low Back Pain Patients using Cushion Sensor in Sitting Position. *J Korean Soc Phys Med* 2020; 15: 83–91. doi:10.13066/kspm.2020.15.2.83
- [12] Vanti C, Andreatta S, Borghi S et al. The effectiveness of walking versus exercise on pain and function in chronic low back pain: a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Disabil and Rehabil* 2019; 41: 622–632. doi:10.1080/09638288.2017.1410730
- [13] Dunlevy C, MacLellan GA, O'Malley E et al. Does changing weight change pain? Retrospective data analysis from a national multidisciplinary weight management service. *Eur J Pain* 2019; 23: 1403–1415. doi:10.1002/ejp.1397
- [14] Błaszczyk A, Zygmańska-Jabłońska M, Wegner-Czerniak K et al. Evaluating Progressive Overload Changes of the Musculoskeletal System in Automobile Industry Workers. *Pol J Environ Stud* 2020; 29: 2579–2586. doi:10.15244/pjoes/111883
- [15] Alefi M, Sadeghi Yarandi M, Karimi A. Modeling of Occupational Risk Factors in the Development of Musculoskeletal Disorders in Nurses. *Arch Occup Health* 2020; 4: 474–479. doi:10.18502/aoh.v4i1.2253
- [16] Shiri R, Falah-Hassani K, Heliövaara M et al. Risk factors for low back pain: a population based longitudinal study. *Arthritis Care Res* 2019; 71: 290–299. doi:10.1002/acr.23710
- [17] Ferguson SA, Merryweather A, Thiese MS et al. Prevalence of low back pain, seeking medical care, and lost time due to low back pain among manual material handling workers in the United States. *BMC Musculoskelet Disord* 2019; 20: 243. doi:10.1186/s12891-019-2594-0
- [18] Monnier A, Larsson H, Nero H et al. A longitudinal observational study of back pain incidence, risk factors and occupational physical activity in Swedish marine trainees. *BMJ Open* 2019; 9: e025150. doi:10.1136/bmjopen-2018-025150
- [19] Kirchoff D, Kopf S, Böckelmann I. Strength training therapy for male police officers with chronic lumbar back pain. Effectiveness of psychological educational interventions. *Zentralbl Arbeitsmed Arbeitsschutz Ergon* 2016; 66: 10–19. doi:10.1007/s40664-015-0031-2
- [20] Owen PJ, Miller CT, Mundell NL et al. Which specific modes of exercise training are most effective for treating low back pain? Network meta-analysis. *Br J Sports Med* 2019; 54: 1279–1287. doi:10.1136/bjsports-2019-100886
- [21] Verbrugghe J, Agten A, Stevens S et al. Exercise intensity matters in chronic nonspecific low back pain rehabilitation. *Med Sci Sports Exerc* 2019; 51: 2434–2442. doi:10.1249/MSS.0000000000002078
- [22] Berry DB, Padwal J, Johnson S et al. The effect of high-intensity resistance exercise on lumbar musculature in patients with low back pain: a preliminary study. *BMC Musculoskelet Disord* 2019; 20: 290. doi:10.1186/s12891-019-2658-1
- [23] Straube S, Harden M, Schroeder H et al. Back schools for the treatment of chronic low back pain: possibility of benefit but no convincing evidence after 47 years of research – systematic review and meta-analysis. *Pain* 2016; 157: 2160. doi:10.1097/j.pain.0000000000000640
- [24] Sowah D, Boyko R, Antle D et al. Occupational interventions for the prevention of back pain: Overview of systematic reviews. *J Safety Res* 2018; 66: 39–59. doi:10.1016/j.jsr.2018.05.007
- [25] Behl-Schön S, Deparade D, Kuhn D et al. The back college: counteract back problems in everyday working life – with sustainable prevention. Hamburg: Institution for Statutory Accident Insurance in the Health and Welfare Services; 2013: 22–25
- [26] Schroeder J, Braumann KM, Reer R. Spinal form and function profile. Reference values for clinical use in low back pain. *Orthopäde* 2014; 43: 841–849. doi:10.1007/s00132-014-2316-0
- [27] Hollmann W, Rost R, Liesen H et al. Assessment of different forms of physical activity with respect to preventive and rehabilitative cardiology. *Int J Sports Med* 1981; 2: 67–80. doi:10.1055/s-2008-1034586
- [28] Mannion AF, Junge A, Fairbank JCT et al. Development of a German version of the Oswestry Disability Index. Part 1: cross-cultural adaptation, reliability, and validity. *Eur Spine J* 2006; 15: 55–65. doi:10.1007/s00586-004-0815-0
- [29] Otten A, Schroeder J. Effect analysis of pronounced sensory motor demanding exercises in chronic low back pain patients – A controlled pilot study. *Phys Med Rehab Kuror* 2021; 31: 1–9. doi:10.1055/a-1337-4484
- [30] Mohammed M, Najj FL. Benefits of exercise training for computer-based staff: a meta analyses. *Int J Kinesiol Sports Sci* 2017; 5: 16–23
- [31] Briest J, Bethge M. Intensified Work-Related Rehabilitation Aftercare: Long-term Results of a Randomized Controlled Multicenter Trial. *Rehabilitation* 2016; 55: 108–114. doi:10.1186/s12891-019-2658-1
- [32] Schroeder J, Otte A, Reer R et al. Low back pain – an umbrella overview of exercise therapy in the general population and special demands in athletes. *Dtsch Z Sportmed* 2015; 66: 257–262. doi:10.5960/dzsm.2015.191
- [33] Mehrdad R, Shams-Hosseini NS, Aghdai S et al. Prevalence of low back pain in health care workers and comparison with other occupational categories in Iran: a systematic review. *Iran J Med Sci* 2016; 41: 467
- [34] Liebers F, Brendler C, Latza U. Age- and occupation-related differences in sick leave due to frequent musculoskeletal disorders. Low back pain and knee osteoarthritis. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2013; 56: 367–380. doi:10.1007/s00103-012-1619-8

- [35] Campos-Fumero A, Delclos GL, Doupbrate DI et al. Low back pain among office workers in three Spanish-speaking countries: findings from the CUPID study. *Inj prev* 2017; 23: 158–164. doi:10.1136/injuryprev-2016-042091
- [36] Bovenzi M, Schust M, Mauro M. An overview of low back pain and occupational exposures to whole-body vibration and mechanical shocks. *Med lav* 2017; 108: 419. doi:10.23749/mdl.v108i6.6639
- [37] Wang M, Yu J, Liu N et al. Low back pain among taxi drivers: a cross-sectional study. *Occup Med* 2017; 67: 290–295. doi:10.1093/occmed/kqx041
- [38] Esquirol Y, Niezborala M, Visentin M et al. Contribution of occupational factors to the incidence and persistence of chronic low back pain among workers: results from the longitudinal VISAT study. *Occup Environ Med* 2017; 74: 243–251. doi:10.1136/oemed-2015-103443
- [39] Gordon R, Bloxham S. A Systematic Review of the Effects of Exercise and Physical Activity on Non-Specific Chronic Low Back Pain. *Healthcare* 2016; 4: 22. doi:10.3390/healthcare4020022



Electronic reprint for personal use