

EINSATZ DER ELEKTROMYOSTIMULATION
ALS HEIMBEHANDLUNG
BEI FRÜHFUNKTIONELLER REHABILITATION
NACH VORDERER KREUZBANDERSATZPLASTIK.
EINE PROSPEKTIVE, RANDOMISIERTE STUDIE.

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von:
Angela Staub,
geboren am: 01. 01. 1971 in Mühlhausen/Thür.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis:	VI
1. Einleitung.....	1
2. Die vordere Kreuzbandruptur	2
2.1. Epidemiologie	2
2.2. Anatomie und Biomechanik	3
2.3. Pathogenese.....	4
2.4. Diagnostik	5
2.5. Verletzungsfolgen	8
2.5.1. Veränderungen am Gelenk	8
2.5.2. Muskelatrophie	8
2.6. Therapie.....	10
2.6.1. Konservativ	11
2.6.2. Operativ	12
2.6.2.1. Methoden	12
2.6.2.2. Patellarsehnentransplantat nach Brückner	14
3. Rehabilitation nach Kreuzbandersatzplastik.....	16
3.1. Anforderungen	16
3.2. Eigenes Nachbehandlungsschema	18
3.3. Elektromyostimulation.....	20
3.3.1. Grundlagen und aktueller Stand der Anwendung.....	20
3.3.2. Wirkungsmechanismen der EMS auf die Muskulatur.....	22
3.3.3. EMS - Effekte auf die Muskulatur	22
3.3.4. EMS - Parameter	23
3.3.5. Objektivierungsmöglichkeiten der EMS	26

4. Material und Methode	27
4.1. Das Reha - Zentrum am Kreuz Erfurt	27
4.2. Patientengut.....	27
4.3. Methode	29
4.3.1. EMS - Behandlung	30
4.3.2. Cybex - Test	31
4.3.3. Fastex.....	36
4.3.4. Oberschenkelumfangbestimmung	40
4.3.5. Lachmann - Test.....	41
4.3.6. Bewegungsumfang	42
4.3.7. Lysholm - Score	42
4.3.8. Tegner - Score.....	43
4.3.9. Fragebogenaktion.....	45
4.3.10. Sonstige Daten	46
4.4. Statistik	46
5. Ergebnisse	46
5.1. EMS - Behandlung.....	46
5.2. Cybex - Test.....	47
5.3. Oberschenkelumfang.....	51
5.4. Fastex	52
5.5. Lachmann - Test.....	54
5.6. Bewegungsumfang	55
5.7. Lysholm - Score	55
5.8. Tegner - Score	56
5.9. Fragebogenaktion	57
6. Diskussion	60
7. Schlussfolgerungen	73
8. Zusammenfassung	74
Literaturverzeichnis:	77
Anhangsverzeichnis	97
Ehrenwörtliche Erklärung	115
Danksagung	116
Tabellarischer Lebenslauf	117

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das vordere Kreuzband	3
Abbildung 2: Ansatzflächen und Isometriezonen des VKB	4
Abbildung 3: Pivot - Shift - Test.....	6
Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Gelenkschaden und Muskelatrophie	9
Abbildung 5: Umfrageergebnisse	11
Abbildung 6: Verletzungsursachen	28
Abbildung 7: Begleitverletzungen.....	28
Abbildung 8: Elektrodenanlage	31
Abbildung 9: Cybex II im Einsatz	31
Abbildung 10: Fastex - schematische Darstellung	37
Abbildung 11: Quick feet - Test.....	38
Abbildung 12: Gait Step - Test	39
Abbildung 13: Stabilisation Step - Test	40
Abbildung 14: Lachmann - Test	41
Abbildung 15: Stimulationszeit, gruppiert.....	47
Abbildung 16: Cybex - Test, DMM Extensoren, verletzt.....	47
Abbildung 17: Cybex - Test, DMM Extensoren, gesund	48
Abbildung 18: Cybex - Test, DMM Flexoren, verletzt.....	48
Abbildung 19: Cybex - Test, DMM Flexoren, gesund	48
Abbildung 20: Cybex - Test, Änderung der DMM zu präoperativ, Extensoren.....	49
Abbildung 21: Cybex - Test, Änderung der DMM zu präoperativ, Flexoren.....	49
Abbildung 22: Cybex - Test, zeitlicher Verlauf H/Q-Quotienten	50
Abbildung 23: OSU	51
Abbildung 24: Änderung des OSU, verletztes Bein	52
Abbildung 25: Fastex, Gait Step Test	53
Abbildung 26: Fastex, Stabilisation Step Test.....	53
Abbildung 27: Fastex, Quick Feet Test	54
Abbildung 28: Lysholm - Score, prozentuale Verteilung	56
Abbildung 29: Tegner - Aktivitätsscore	57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Sportarten nach Risiko zu Pivot - Attacken	5
Tabelle 2: Veränderungen der Muskelzelle durch Immobilitätsatrophie	10
Tabelle 3: Operationsmöglichkeiten im Überblick	13
Tabelle 4: Phasen der Rehabilitation nach Kreuzbandersatzplastik	17
Tabelle 5: Anwendungsgebiete EMS	21
Tabelle 6: Technische Daten 262 PolyStim	30
Tabelle 7: EMS - Parameter	31
Tabelle 8: Cybex - Testparameter	35
Tabelle 9: Lysholm - Score	43
Tabelle 10: Aktivitäts - Score nach Tegner	44
Tabelle 11: Lachmann - Test	55
Tabelle 12: Bewegungsumfang	55
Tabelle 13: Lysholm - Score	56
Tabelle 14: Tegner - Score	56
Tabelle 15: Auswertung der Fragebogenaktion	58
Tabelle 16: Auswertung des EMS - Fragebogens	59

Abkürzungsverzeichnis:

µs	Mikrosekunde
°/sec	Winkelsekunde
Abb.	Abbildung
ACL	anterior cruciate ligament
AGT	durchschnittliche GT
AHB	Anschlussheilbehandlung
AST	durchschnittliche ST
ATS	durchschnittliche TS
ATT	durchschnittliche TT
BTB-	Bone - tendon - bone-
cm	Zentimeter
CPM	Continuous Passive Mobilisation
CT	Computertomographie
DMM	Drehmomentmaximum oder maximales Drehmoment
DNA	Desoxyribonukleinsäure
EMG	Elektromyographie
EMS	Elektromyostimulation
EMS-G	EMS-Gruppe (= Versuchsgruppe)
Ext.	Extensoren
Flex.	Flexoren
ges.	gesund
GT	Ground time
H/Q - Quotient	(prozentuales) Verhältnis der DMM der Oberschenkelflexoren zu den Oberschenkelextensoren
Hz	Herz
Kap.	Kapitel
KG	Kontrollgruppe
KG	Körpergewicht
LCA	Ligamentum cruciatum anterius
M.	Muskel, Musculus
mA	Milliampere
mikros	Mikrosekunden
min	Minuten
mm	Millimeter
Mo.	Monat(e)
MRT	Magnetresonanztomographie

N	Newton
n	Anzahl
Nm	Newtonmeter
NNM	Neutral-Null-Methode
OP	Operation
OSU	Oberschenkelumfang
p	Korrelationskoeffizient
PNF	propriozeptive neuromuskuläre Fazilitation
POM	postoperativer Monat
POW	postoperative Woche
postop.	postoperativ
POT	postoperativer Tag
präop.	präoperativ
s	Sekunden
s.	siehe
S.	Seite
Sig.	Signifikanzniveau
ST	Stabilisation time
TS	Transit speed
TT	Transit time
v. u. Z.	vor unserer Zeitrechnung
verl.	verletzt
vgl.	vergleiche
VKB	vorderes Kreuzband
Wo.	Woche

1. Einleitung

Die Behandlung von Bandverletzungen des Kniegelenks und hier besonders des vorderen Kreuzbandes stellt ein zentrales Problem in der Sporttraumatologie dar. Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen belegen die Bedeutung dieser Problematik. Eine Literaturrecherche unter dem Stichwort: „anterior cruciate ligament“ (vorderes Kreuzband) ergibt z. B. in der medizinischen Datenbank MedLine allein in den Jahren 1998 und 1999 über 5000 Einträge. Das hat seine Ursache in der zunehmenden Zahl von Kreuzbandpatienten in den letzten Jahren [88]. Gründe dafür sind nicht nur der wachsende Anteil an Freizeitsportlern, sondern auch die verbesserten Diagnose- und Behandlungsmöglichkeiten [145]. Die Bedeutung des intakten Kreuzbandes für die regelrechte Funktion des Kniegelenks ist unumstritten. Es hat einerseits als passiver Stabilisator andererseits als Ausgang von schützenden Reflexmechanismen eine Doppelfunktion [158, 145]. Eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes (VKB) führt unbehandelt meist zu weitreichenden Schäden.¹

Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurden eine Vielzahl von Behandlungsstrategien entwickelt. Obwohl die erste Beschreibung einer Kreuzbandnaht schon 100 Jahre zurückliegt [14], wird das Thema der bestmöglichen Therapie noch immer kontrovers diskutiert [24, 85, 95, 98]. Lange Zeit war es strittig, ob eine operative Wiederherstellung überhaupt sinnvoll ist, da die verwendeten Methoden nur unbefriedigende Ergebnisse lieferten [84]. Die Rekonstruktionsmöglichkeiten wurden jedoch im Laufe der Jahre immer mehr verbessert. Heute stehen dem Chirurgen eine Vielzahl von intra- und extraartikulären Verfahren zur Verfügung: primäre Naht mit und ohne Augmentation, laterale Stabilisierung, Bandplastiken mit verschiedenen autologen Materialien und der Einsatz von Kunstbändern allein oder als Verstärkung.

Die Rehabilitation nach einer Kreuzbandplastik ist langwierig und stellt hohe Anforderungen an die Compliance des Patienten. Das Dilemma besteht darin, dass einerseits die rekonstruierten Strukturen geschützt werden müssen, andererseits ein rascher Rehabilitationsbeginn nötig ist, um die Immobilisationsfolgen möglichst gering zu halten. In letzter Zeit erlangt die frühfunktionelle Nachbehandlung immer mehr an Bedeutung [22, 154]. Wochenlange Ruhigstellung in Gips oder Schiene sollte, der Immobilitätsschäden² wegen, der Vergangenheit angehören. Ab wann

¹ Siehe dazu Kapitel 2.5. Verletzungsfolgen.

² Siehe dazu Kapitel 2.5. Verletzungsfolgen.

und in welchem Umfang das Knie belastet werden kann, darüber gibt es eine Vielzahl von Meinungen [80, 115, 169, 171, 201]. Hauptaugenmerk der Rehabilitation liegt, neben dem Erhalt oder der Wiederherstellung der Beweglichkeit des Kniegelenks, auf dem Training der Oberschenkelmuskulatur. Um die unweigerlich nach einem operativen Eingriff am Knie einsetzende Atrophie, vor allem des M. quadrizeps [34, 101], zu verringern, wird als eine Möglichkeit die Elektromyostimulation (EMS) empfohlen [202].

Die positive Wirkung der EMS auf die Kraft- und Ausdauereigenschaften der Muskulatur ist in zahlreichen Studien belegt worden.³ Es liegen vor allem Untersuchungen an gesunden Leistungssportlern oder Patienten mit postoperativer Immobilisation vor. Das unterschiedliche Studiendesign erschwert die Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse. Insbesondere fehlen Befunde, die eine Aussage darüber zulassen, ob der Einsatz der EMS in der postoperativen Rehabilitation bei frühfunktioneller Nachbehandlung⁴ als zusätzliche Maßnahme wirklich sinnvoll ist. In der vorliegenden Arbeit werden deshalb in einer prospektiven, randomisierten Studie die Frühergebnisse nach Kreuzbandrekonstruktion unter besonderer Berücksichtigung der Elektromyostimulation in der Nachbehandlung dargestellt.

2. Die vordere Kreuzbandruptur

2.1. Epidemiologie

Die Zahl der Kniebandverletzungen ist in den letzten Jahren gestiegen [88, 200]. Dabei ist das vordere Kreuzband mit einer Inzidenz von 38 Fällen pro 100 000 Bewohner das am häufigsten vollständig gerissene Band des Kniegelenks - dies bestätigt den Stellenwert dieses Bandes in der täglichen Praxis der Unfallchirurgen und Orthopäden [115]. Ebenso gestiegen ist der Anspruch der Patienten an eine möglichst schnelle und vollständige Wiederherstellung ihrer Arbeits- und Sportfähigkeit. Die Operationstechniken werden deshalb ständig verfeinert, um die Bandverhältnisse anatomisch korrekt wiederherzustellen und die Nachbehandlungszeiten zu verkürzen [85, 117, 123, 199]. Ebenso werden vielfältige Bemühungen unternommen, um die Rehabilitation zu optimieren [52, 91, 208].

³ Siehe dazu Kapitel 3.3. Elektromyostimulation.

⁴ Siehe dazu Kapitel 3.1. Anforderungen.

2.2. Anatomie und Biomechanik

Das Kniegelenk verbindet die beiden längsten Hebelarme des Körpers miteinander. Es besitzt nur eine geringe knöchernen Führung. Eine Stabilisierung wird passiv mittels der Kapselbandstrukturen, beider Menisci und aktiv durch Muskel- Sehnen- gruppen erreicht. Die Kreuzbänder sind das zentrale Führungselement des Gelenks, durch ihr Zusammenwirken in der Bewegung entsteht eine geschlossene, ebene Vierergelenkkette, die den bekannten Roll - Gleitmechanismus der Femur- kondylen bestimmt. Der momentane Drehpunkt des Gelenks ist der Kreuzungspunkt der Kreuzbänder. In jeder Gelenkstellung ist ein Teil der Kreuzbänder angespannt und verhindert eine Verschiebung des Tibiakopfes in der sagittalen Ebene [118, 124, 200].

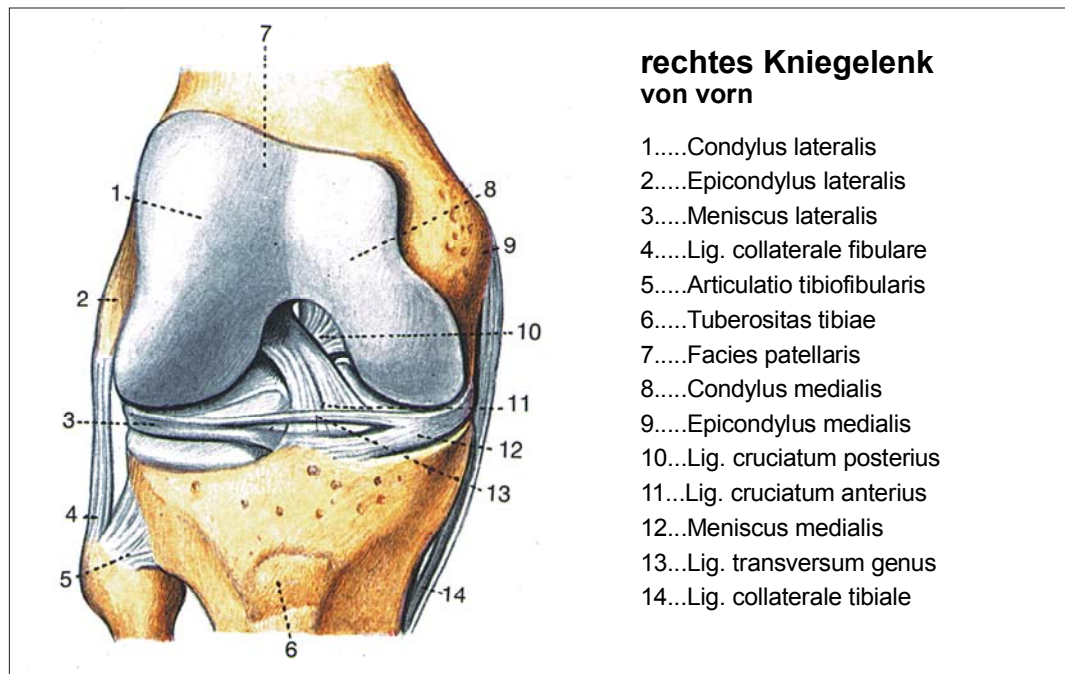


Abbildung 1: Das vordere Kreuzband⁵

Das ca. 4 cm lange und 1 cm breite vordere Kreuzband (VKB) verläuft vom dorsalen Drittel der Innenfläche des lateralen Femurcondylus und der Fossa intercondylaris femoris zur Area intercondylaris anterior tibiae, wo es breitflächig zwischen den vorderen Meniskusursprüngen ansetzt [124]. Es besteht aus verschiedenen langen Faserbündeln, die längsten liegen anterior. Die Faserbündel werden je nach biologischer Beanspruchung rekrutiert, beim VKB von Flexion zu Extension. Dabei weisen die anteromedialen Fasern die geringste Längenänderung bei Flexion auf, das posterolaterale Bündel entspannt sich zunehmend. Die anatomischen Insertionen

⁵ Entnommen aus: [122] S. 726.

verlaufen entlang einer Transitionslinie [56]. Bei der Rekonstruktion der Ansatzflächen sind die Isometriepunkte, d. h. die Stellen mit der geringsten Distanzänderung der inserierenden Fasern, zu bestimmen. Diese liegen auf dem Rand des dorsolateralen Quadranten des tibialen, tropfenförmigen und dem maximal dorsalen Rand des femoralen, annähernd halbkreisförmigen Ansatzes (s. Abb. 2).

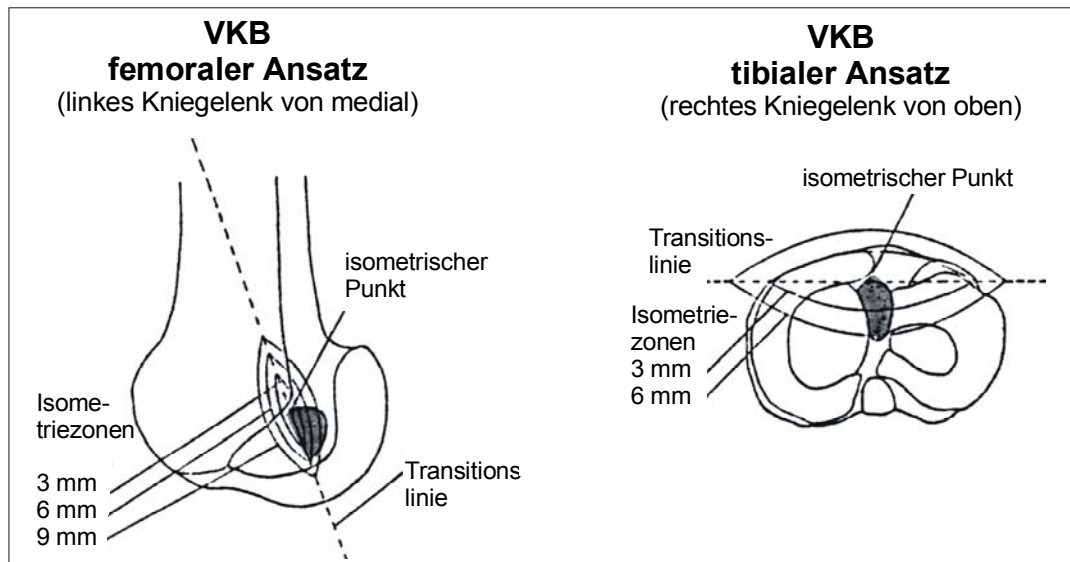


Abbildung 2: Ansatzflächen und Isometriezonen des VKB⁶

Die Blutversorgung des VKB erfolgt über die gefäßreiche Synovia. In den letzten Jahren immer mehr in den Vordergrund gerückt ist die reiche neurale Versorgung des vorderen Kreuzbandes [52, 115, 150]. Bereits 1986 wiesen Grüber et al. Mechanorezeptoren an den Insertionen und in einer klinischen Studie den „vorderen Kreuzbandreflex“ (= LCA-Reflex) nach. Der arthrokinetische Reflexbogen ermöglicht eine Belastungsadaptation der gelenkstabilisierenden Muskulatur durch erhöhte Innervation und ist somit ein wichtiger Schutzmechanismus für das VKB selbst [37].

2.3. Pathogenese

Die Stabilität des Kniegelenks wird passiv mit Hilfe der Bänder und aktiv durch Muskel- Sehnengruppen erreicht. Die tonisierende Muskulatur, insbesondere der M. quadrizeps, ist in der Lage, große Belastungen aufzufangen. Wird das Kniegelenk bei nicht tonisierter Muskulatur in extremen Funktionsstellungen (Flexions- Valgus- Außenrotations- oder Flexions- Varus- Innenrotationsstellung) sozusagen überrascht, kommt es leicht zu Mehrfachverletzungen des Bandapparates. Dabei

⁶ Entnommen aus: [200] S. 7.

bestimmen Intensität der Krafteinwirkung, Stellung des Kniegelenks sowie Muskelanspannung den Grad der Verletzung. Meist sind mehrere Kapselbandstrukturen des Kniegelenks betroffen, häufig das mediale Seitenband, seltener das laterale. Bei komplexen Unfallmechanismen finden sich regelmäßig begleitende Meniskus-, Knorpel- und Knochenläsionen. Isolierte Kreuzbandrupturen sind nur in etwa 10% der Fälle zu erwarten [24, 118]. Untersuchungen haben ergeben, dass zwischen 10° und 20° Beugung bei Innenrotation das vordere Kreuzband isoliert angespannt ist; kommt in dieser Position noch eine vordere Schubladenbewegung hinzu (z.B. eine reflektorische Quadrizepsanspannung), kann das Band zerreißen.

Die häufigsten Verletzungsursachen sind Sport- und Verkehrsunfälle. Dabei stehen Fußball und Skisport an erster Stelle. Weitere, das Kreuzband gefährdende, Sportarten sind Tennis, Squash, Handball, Volleyball, Eishockey und Kampfsportarten [1, 110, 112, 196]. Eine Einteilung der Sportarten nach Risiko zu Pivot - Attacken⁷ ist folgender Tabelle zu entnehmen:

hohes Risiko	geringes Risiko	knieschonend
<ul style="list-style-type: none">• Fußball• Squash• Tennis• American Football• Alpiner Skilauf	<ul style="list-style-type: none">• Skilanglauf• Bergsteigen	<ul style="list-style-type: none">• Laufen• Radfahren

Tabelle 1: Einteilung der Sportarten nach Risiko zu Pivot - Attacken⁸

2.4. Diagnostik

Eine sorgfältig erhobene Anamnese gibt über die Beschreibung des Unfallmechanismus⁹ oft schon wertvolle Hinweise für das Vorliegen einer vorderen Kreuzbandruptur. Auf die bekannten klinischen Untersuchungsmethoden zur Gelenkerguss-, Meniskus- und Seitenbanddiagnostik soll hier nicht eingegangen werden.¹⁰ Der wichtigste klinische Test zur Prüfung einer vorderen Instabilität ist der Lachmantest, er ist in 86 - 100% der Fälle positiv [26]. In einem späteren Kapitel

⁷ Pivot - Attacken = Situationen mit hohem Verletzungsrisiko für das vordere Kreuzband. Siehe dazu auch Kapitel 2.4. Diagnostik. (Pivoting).

⁸ Adaptiert übernommen [49] S. 27.

⁹ Siehe Kapitel 2.3. Pathogenese.

¹⁰ Genaueres siehe [118].

wird darauf genauer eingegangen.¹¹ Er ist auch bei frisch Verletzten gut durchführbar, kann meist ohne Anästhesie geprüft werden und ist in geübten Händen sehr aussagekräftig, wenn das Anschlagphänomen mit berücksichtigt wird [115, 178, 198]. Der Lachmann - Test kann auch sonografisch durchgeführt werden [71, 167]. Ein auf dem gleichen Prinzip (vordere Translation der Tibia) beruhendes instrumentelles Verfahren ist die Prüfung mit einem Arthrometer, wobei die größten Erfahrungen für das KT 1000 vorliegen. Dabei wird eine Seitendifferenz von mehr als 3mm als vordere Instabilität gewertet. Das Verfahren ist genau und liefert nach einer Einarbeitungsphase reproduzierbare Ergebnisse. In der klinischen Praxis kann bei erfahrenen Untersuchern jedoch auf die instrumentelle Messung der vorderen Knieinstabilität verzichtet werden, da der Lachmann - Test ausreichend exakt ist [104, 198]. Des Weiteren ist die vordere Schublade in 90° zu prüfen, hierbei können jedoch noch intakte Strukturen eine stärkere Subluxation nach vorn verhindern [49].

Ein weiteres Zeichen für das Vorliegen einer VKB - Ruptur ist das Pivot - Shift - Phänomen. Dabei handelt es sich um eine momentane, nach vorn gerichtete Subluxation der Tibia bei Belastung des Kniegelenks mit einer Valguskraft in Innenrotation, gefolgt von einer plötzlichen ruckartigen schmerzhaften Reposition bei Beugung des Knies um 30 - 50 Grad. Dieses Phänomen ist jedoch vor allem bei frischen Verletzungen oft nur in Anästhesie prüfbar. Das „Drehschnappen“ kann mit verschiedenen Untersuchungstechniken geprüft werden, z. B. Slocum - Test, Jerk - Test u. a.. Beim „klassischen“ Pivot - Shift - Test liegt der Patient in Rückenlage, der Arzt hält den Fuß mit einer Hand in Innenrotationsstellung, übt mit der anderen einen Valgusstress aus und flexiert das Knie langsam.

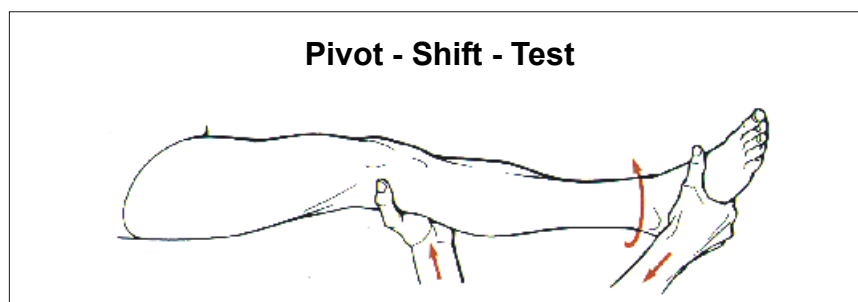


Abbildung 3: Pivot - Shift - Test¹²

¹¹ Siehe Kapitel 4.3.5. Lachmann – Test.

¹² Entnommen aus: [144] S. 460.

Das Pivoting wird auch ausgelöst, wenn ein Sportler mit fehlendem VKB den Fuß zu einem plötzlichen Stopp aufsetzt und dabei den Körper auf dem fixierten Bein dreht [90, 118, 84].

Um Frakturen auszuschließen, sollte jede frische Knieverletzung radiologisch abgeklärt werden. Bei VKB - Ruptur finden sich meist keine röntgenologisch sichtbaren ossären Läsionen. Ausnahmen bilden die Segond - Fraktur¹³, die fast immer mit einer Verletzung des VKB vergesellschaftet ist [115, 118] und knöcherne Bandausrisse. Gehaltene Aufnahmen sind für die Diagnose einer Knieinstabilität im Allgemeinen nicht erforderlich. Werden sie zur Befunddokumentation erwünscht, sollten sie der Genauigkeit wegen mit Hilfe eines Prüfgerätes und im Seitenvergleich angefertigt werden [53].

Die Indikation zur Arthroskopie sollte kritisch bei erschwerter klinischer Diagnostik gestellt werden. Sie ermöglicht neben dem Erkennen von Begleitverletzungen die Ausführung einer Soforttherapie kleinerer Schäden [178]. Liegt ein Rezidiv - Hämarthros vor, der in hohem Prozentsatz (77%) mit einer Kreuzbandruptur assoziiert ist [48], und besteht der Verdacht auf traumatische Begleitverletzungen, besteht eine relative Indikation zur Arthroskopie. Bei chronischen Instabilitäten erfolgt nach Arthroskopie zur Diagnosesicherung einzeitig die definitive Kreuzbandstabilisation bzw. Kreuzbandplastik.

Die Magnetresonanztomographie (MRT) nimmt, vor allem bei frischen Verletzungen, an Bedeutung zu [128, 183]. Neben der zuverlässigen Beurteilbarkeit aller Binnenstrukturen (Bänder, Menisken, Knorpel, Erguss) [58, 187] sind "bone bruise" - trabekuläre Mikrofrakturen - zu erkennen. Diese befinden sich meist im lateralen Compartment: im mittleren Drittel des lateralen Femurcondylus und im posterolateralen Tibiaplateau, wo sie sich als diffuse oder umschriebene Erniedrigung der Signalintensität in T1 - Wichtung darstellen. Diese bone bruise werden in 40-50% der Fälle bei akuter VKB - Ruptur gefunden [68, 133, 143 183, 210]. Des Weiteren wird die MRT in Untersuchungen zum postoperativen Transplantatumbau eingesetzt [180, 186].

Eine weitere Möglichkeit der VKB - Diagnostik ist die CT- Arthrographie, ein Verfahren mit hoher Sensitivität (95,4%), dieses wird jedoch kaum noch angewandt.

¹³ Segond-Fraktur = knöcherner Ausriss der Kapsel am lateralen Tibiakopf.

2.5. Verletzungsfolgen

2.5.1. Veränderungen am Gelenk

Eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes als Hauptstabilisator in antero-posteriorer Richtung des Kniegelenks führt zu einer Störung des physiologischen Bewegungsablaufes im Sinne einer Desintegration der Roll- Gleit- Bewegung. Das lässt sich klinisch durch ein vermehrtes Gelenkspiel nachweisen [201]. Des weiteren kann es zu einer Lockerung aller anderen anfangs ungeschädigten Bänder des Kniegelenks und somit zur Zunahme der Laxität kommen [56, 83, 145]. Durch den Verlust des VKB wird das propriozeptive Empfinden und die neuromuskuläre Koordination gestört. Eine Belastungsadaptation ist durch den unterbrochenen arthrokinetischen Reflexbogen nur noch eingeschränkt möglich [37, 52, 150]. Unbehandelt führt eine VKB - Verletzung deshalb meist zu weitreichenden Schäden, sie wurde auch als der „Anfang vom Ende des Kniegelenks“ [48] bezeichnet. Die größte Gefahr stellen die nach VKB - Ruptur durch mechanische Instabilität bedingt vermehrt auftretenden Meniskusläsionen dar. Es ist nachgewiesen, dass ein defekter oder fehlender Meniskus die Hauptursache für die Kniegelenksarthrose bildet [28, 95, 112, 168]. Als „VKB- Syndrom“ werden die durch die Instabilitätszunahme bedingten Folgeverletzungen, wie Meniskusschäden und Knorpeldestruktionen, bezeichnet [87, 146].

In gewissem Umfang kann der Ausfall des VKB durch eine kräftige Muskulatur kompensiert werden. Diese ist durch die Verletzung jedoch zwangsläufig mitbetroffen, da es nach Schädigung des Kniegelenks zu einem reflektorischen Ausfall der Streckmuskulatur, zuerst des M. vastus med. und später des M. rectus femoris, kommt [32]. Die Hamstrings als Agonisten des VKB sind von der Muskelatrophie weniger betroffen.

2.5.2. Muskelatrophie

Das Ausmaß der Atrophie der Oberschenkelmuskulatur nach Knieverletzung und Operation ist von verschiedenen Faktoren abhängig [7, 39, 73]:

- ältere oder frische Verletzung
- operative oder konservative Behandlung
- Dauer der Immobilisation
- Grad der Muskelspannung während der Immobilisation
- Gelenkergüsse
- Schmerzen
- Muskelfasertypen

- Alter und Geschlecht
- Trainingszustand

Wie im vorherigen Kapitel schon angedeutet, besteht ein kausaler Zusammenhang zwischen Kniegelenkschädigung und Muskelatrophie (s. Abb. 4).

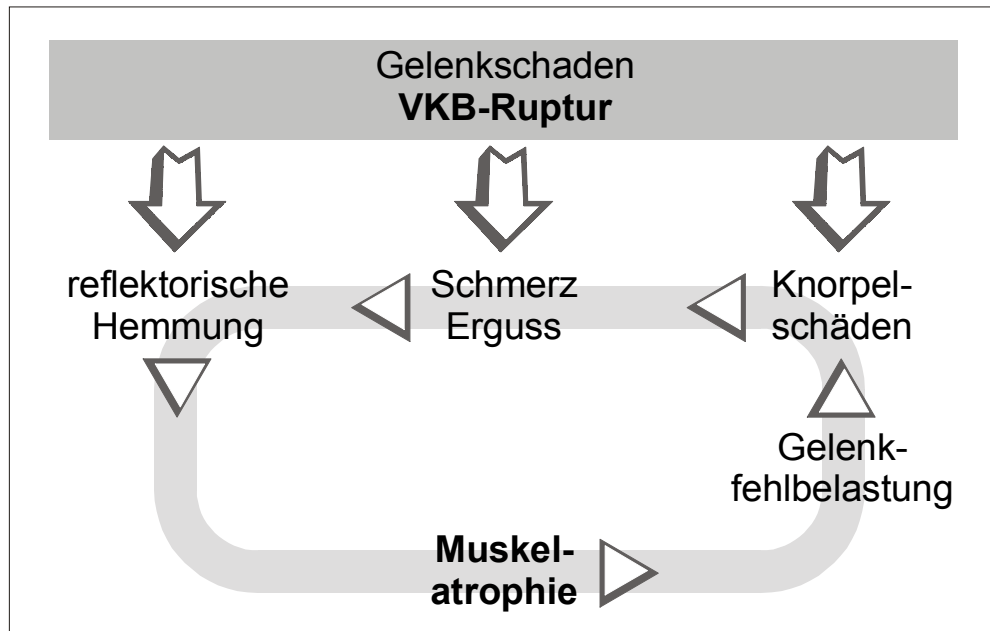


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Gelenkschaden und Muskelatrophie

Es kommt häufig zu einer segmentalen, spinalmotorischen Regulationsstörung, welche zunächst Hypotonie, dann Atrophie zur Folge hat. Die sich daraus ergebende fehlerhafte Steuerung führt zu Fehlbelastung des Gelenks, Überlastung des Kapsel-Bandapparats und reaktiver Ergussbildung. Ein Gelenkerguss verstärkt wiederum die Muskelatrophie [21]. Die durch die Muskelschwäche verminderte mechanische Reizung des Gelenkknorpels bedingt eine Störung des chondrosynovialen Stoffwechsels [29].

Die Änderungen bei Immobilisationsatrophie im Muskel selbst sind vielfach untersucht worden. Sie beginnen bereits in der ersten Woche nach Ruhigstellung. Messbar ist eine reduzierte elektrische Aktivität. Biomechanische und ultrastrukturelle Veränderungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

biomechanische Veränderungen:	ultrastrukturelle Veränderungen:
<ul style="list-style-type: none">• Abnahme der Proteinsynthese• Abnahme der aeroben Kapazität• Verminderte Enzymaktivität (Citrat-synthase, Triphosphatdehydrogenase)	<ul style="list-style-type: none">• Abnahme der Volumendichte und des Volumens der Myofibrillen• Fragmentation des Sarkolemms• Degeneration des sarkoplasmatischen Retikulums• Verringerung der Volumendichte und Größe der Mitochondrien

Tabelle 2: Veränderungen der Muskelzelle durch Immobilitätsatrophie¹⁴

Welche Fasertypen von Immobilisation mehr betroffen sind, darüber herrscht keine Einigkeit. Einige Autoren erklären die auffällig starke Atrophie des M. vastus medialis nach Ruhigstellung mit der höheren Empfindlichkeit der Typ II Fasern [113, 148]. Andere wiederum sagen, dass Immobilisationsschäden zuerst bei den tonischen Typ I Fasern auftreten, da diese physiologischerweise einer gleichmäßigen Aktivität unterliegen und bei Beanspruchung zuerst rekrutiert werden [42, 155, 163].

Funktionell manifestiert sich die Muskelatrophie in einer drastischen Abnahme der Muskelkraft, sie ist in der ersten Woche am größten und erreicht Werte um 50% vom Ausgangswert. Ebenfalls kommt es mit geringer zeitlicher Verzögerung zu einer Verringerung der Muskelmasse. Dabei nimmt die Muskelquerschnittsfläche stark ab, die Menge des Bindegewebes jedoch zu, was die Versorgungsbedingungen im Muskel verschlechtert. Die Wiederherstellung einer kräftigen Muskulatur nimmt in der Physiotherapie einen längeren Zeitraum in Anspruch als die Ruhigstellung andauert. Untersuchungen ergaben, dass selbst nach 12-18 Monaten noch Kraftdefizite der Oberschenkelextensoren von 10 - 20% bestehen können [10, 101].

2.6. Therapie

Nach wie vor sind die Ansichten über die ideale Behandlung eines frisch gerissenen Kreuzbandes kontrovers [85, 168, 201]. Obwohl in einer Vielzahl von Publikationen ein gewisser einheitlicher Trend zu verzeichnen ist, werden in der alltäglichen Praxis die unterschiedlichsten Behandlungsmethoden gefunden. Die folgende Abbildung stellt dafür ein eindrucksvolles Beispiel dar:

¹⁴ Zusammengestellt nach: [7, 65, 93, 97, 125, 197, 204].

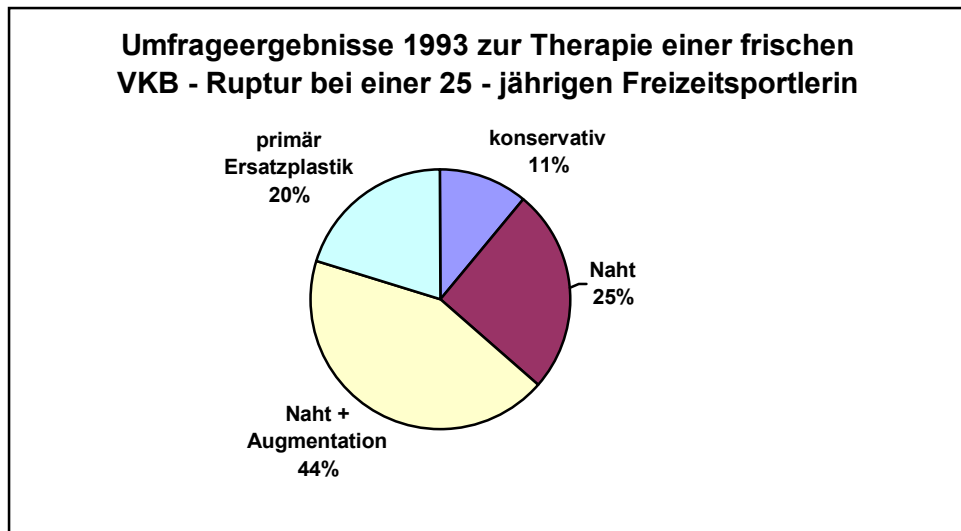


Abbildung 5: Umfrageergebnisse¹⁵

In den 70er Jahren wurde die konservative Behandlung mit gezieltem Muskelaufbautraining bevorzugt, da die Operationsergebnisse nicht überzeugen konnten [92]. Diese wurden durch ausgefeilte Verfahren immer weiter verbessert, so dass heute die Indikation zur Operation großzügiger gestellt werden kann, ja z. T. als Methode der Wahl angesehen wird [137, 148]. Operiert werden sollte, wenn der Patient zu seinem hohen Aktivitätsniveau als Leistungs- oder Freizeitsportler oder im Beruf zurückkehren will; des weiteren wenn nach mehrmonatiger konservativer Therapie rezidivierende Instabilitätsattacken auftreten und eine symptomatische Instabilität vorliegt [15, 92, 108, 138, 146]. Auch bei vorbestehenden hyperlaxen Kniegelenken sowie einer deutlichen Varusstellung ist eine Operation angezeigt, da diese Morphotypen unversorgt rascher zur Dekompensation neigen. Auf eine Rekonstruktion kann verzichtet werden, wenn das Aktivitätsniveau des Verletzten sehr niedrig ist und er geringe Ansprüche an die Belastbarkeit seines Kniegelenks stellt, dasselbe bereits fortgeschrittene degenerative Veränderungen aufweist oder abzusehen ist, dass der Patient das aufwendige Nachbehandlungsprogramm nicht absolvieren kann. Das Alter spielt bei der Entscheidungsfindung eine untergeordnete Rolle [82, 92, 108, 201].

2.6.1. Konservativ

Eine konservative Therapie kann für die Patienten das beste sein, die bereit sind, ihren Lebensstil zu ändern (Vermeidung von Hochrisiko-Sportarten wie Fußball, Squash, Tennis oder American Football) und damit das Verletzungsrisiko zu minimieren oder aber für ältere Menschen, die keinen bzw. wenig Sport treiben [49, 92].

¹⁵ Entnommen aus [201] S. 971.

Häufig ist eine arthroskopische Abklärung notwendig, um das Verletzungsausmaß bestimmen und eventuelle Stumpf- oder Meniskusresektionen ausführen zu können; oft ist ein begleitender Hämarthros auszuräumen [49]. Frische Kreuzbandrupturen ohne schwere Begleitverletzungen können frühfunktionell mit nichtsteroidalen Antiphlogistika, physikalischer Therapie und intensiver Krankengymnastik - wie in der Phase nach der Operation - behandelt werden. Anfangs ist es oft nötig, Gehstützen und Schienen zu verwenden, um starke Schmerzen zu lindern - jedoch nur für einige Tage, um Bewegungseinschränkungen und Muskelatrophie gering zu halten. Bevor normale sportliche Aktivität erlaubt wird, sollte die Muskelfunktion 90% der Gegenseite betragen. Sobald volle Beweglichkeit erlangt ist, kann der Patient knieschonende Sportarten wie Fahrradfahren, Schwimmen, Joggen ausüben. Bracing wird empfohlen, kann bei Hochrisiko- Aktivitäten jedoch keinen ausreichenden Schutz bieten [92, 118, 201].

Bestehen Begleitverletzungen, z.B. ein nicht dislozierter knöcherner Ausriss des medialen Seitenbandes, ist eine Immobilisationsbehandlung angezeigt. Nach 6-wöchiger Ruhigstellung im Gips- oder Kunststoffverband heilen die Läsionen stabil aus.

Nach Beendigung der Immobilisation muss durch intensive krankengymnastische Übung Muskelkraft (besonders der Hamstring- und Quadrizepsmuskulatur) und Beweglichkeit wiederhergestellt werden. Zusätzlich ist ein propriozeptives Training von großer Bedeutung. Ziel ist die Verbesserung der aktiven Stabilisierung des Kniegelenks in jeder Winkelposition [115, 132]. Treten trotz suffizientem Muskeltraining wiederholt Instabilitätsepisoden auf, so ist eine operative Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes anzuraten. Häufige „Giving- Way- Attacken“¹⁶ führen zu Knorpel- und Meniskusschäden mit nachfolgender Osteoarthrose [48, 49 56, 115].

2.6.2. Operativ

2.6.2.1. Methoden

Möglichkeiten der Wiederherstellung des vorderen Kreuzbandes gibt es viele, wobei in der Literatur keine Einigkeit darüber herrscht, welche Methode präferiert werden sollte. Einen Überblick gibt folgende Tabelle:

¹⁶ Giving- Way- Attacken = Episoden, bei denen der Patient ein Instabilitätsgefühl im Kniegelenk hat.

Operationsmöglichkeiten nach VKB - Ruptur		
Naht:	<ul style="list-style-type: none"> • Mit Verstärkung • Ohne Verstärkung 	
Rekonstruktion intraartikulär:	<ul style="list-style-type: none"> • Alloplastische Materialien • Autologe Transplantate 	<ul style="list-style-type: none"> • Allein oder als Augmentation • Patellarsehne (BTB - Transplantat) • Semitendinosussehne • Traktus iliotibialis u.a.
Rekonstruktion extraartikulär:	<ul style="list-style-type: none"> • Allein oder zusätzlich zur intraartikulären Rekonstruktion 	

Tabelle 3: Operationsmöglichkeiten im Überblick

Die primäre Naht, mit oder ohne Verstärkung, wird wegen unbefriedigender Resultate kaum noch angewandt [70, 168, 172]. Einige Autoren empfehlen die Naht mit Augmentation bei bestimmten Voraussetzungen: frische Verletzung, ansatznahe Ruptur bzw. knöcherner Ausriss und geeignete Nahttechnik [95, 98, 111, 141]. Die Verwendung alloplastischer Bänder allein wird wegen der schlechten Langzeitergebnisse und hohen Komplikationsraten zunehmend abgelehnt [95, 201]. Eine Indikation wird als „Salvage Procedure“ bei mehrfach voroperierten chronisch instabilen Kniegelenken gesehen [120, 147]. Einige Chirurgen verwenden synthetische Ersatzmaterialien als zusätzliche Stabilisation in den ersten Wochen nach Operation [16, 103 116, 159], Kiefer et al. [98] fanden 1998 keine verbesserten Ergebnisse bei Augmentation einer biologischen Bandplastik. Die Annahme, dass Kunstbänder häufiger zu Arthrose führen, konnte nicht nachgewiesen werden [112]. Der Einsatz extraartikulärer Verfahren ist limitiert, sie werden vor allem bei geschwächten, älteren Patienten oder zusätzlich bei noch offener Epiphysenfuge verwendet [87, 168]. Viele Chirurgen bevorzugen eine intraoperative Rekonstruktion, hier stellt das Bone-tendon- bone Transplantat aus der Patellarsehne die Methode der Wahl dar [82, 92, 151], an zweiter Stelle steht derzeit die Semitendinosussehnenplastik. Die Vorteile der Patellarsehne sind: gute Festigkeit, gute Verfügbarkeit, gute Befestigungsmöglichkeit, schnelles Einwachsen, rascher Rehabilitationsbeginn. Bei Verwendung der Hamstring - Sehne werden postoperative Patellaschmerzen und Beeinträchtigung des Streckmechanismus mit nachfolgender Quadrizepsschwäche vermieden, es muss jedoch eine größere Elastizität und geringere Festigkeit in Kauf genommen werden [92, 199]. In der Literatur finden sich noch eine Vielzahl abgewandelter Operationsmethoden, von denen nur einige hier genannt werden sollen:

- Passl et al. (1986): Verwendung der mehrfach geschlungenen Plantarissehne [149]
- Gerich et al. (1998): Zweikanaltechnik [63]
- Garbe (1991): doppelläufiger Fascia- lata- Streifen [59]
- Villinger (1984): proximal gestielte Gracilsehne (Lindemann) [53]
- Pühringer (1984): dynamische Ersatzplastik nach Lindemann mit Verstärkung des medialen Seitenbandes [53]
- Harnach (1984): Sehnen transplantat aus M. rectus femoris mit Knochenspan aus Patella [53]
- Hoffmann et al. (1998): vierzügiges Semitendinosustransplantat [85]
- Ennecker (1985): kombinierte Plastik mit gestieltem Periostlappen und Kuttisstreifen [40]

Unstrittig ist die Frage des Operationszeitpunktes bei frischen Verletzungen. Eine anatomische Rekonstruktion durch Naht ist wegen danach einsetzender morphologischer Veränderungen der Kreuzbandstümpfe nur in der Frühphase (7 Tage) möglich [111, 201]. Bei geplanter Kreuzbandersatzplastik sollten akute Rupturen zunächst 2 - 4 Wochen physiotherapeutisch behandelt werden, erst nach Abklingen der Entzündungszeichen kann dann die Rekonstruktion erfolgen. Dieses Vorgehen soll das Arthrofibrosierisiko verringern [123]. Werden bone bruises gefunden, wird die Operation aus denselben Gründen um ca. 3 Monate verschoben. Stärkere Zeitverzögerungen (4-6 Monate) sind wegen der Gefahr von Meniskusschäden jedoch problematisch und wenn möglich zu vermeiden [135, 201]. Eine nicht unbedeutende Rolle bei der Planung des Operationszeitpunktes spielt die Arbeitsplatzsituation des Patienten.

Die Patienten der hier vorliegenden Studie wurden arthroskopisch, modifiziert nach Brückner, operiert, deshalb soll auf diese Methode genauer eingegangen werden.

2.6.2.2. Patellarsehnentransplantat nach Brückner

Die Verwendung eines Teils der Patellarsehne als Kreuzbandersatz geht auf Wittek, Campbell, Augustine und Jones zurück [207]. Brückner legte 1966 die Grundlagen für die nach ihm benannte Methode [206]. Diese wurde im Laufe der Jahre mehrfach modifiziert und hat sich mittlerweile zu einem Routineeingriff entwickelt [123]. Vorteile dieses Transplantats sind das günstige Einheilungsverhalten, solide Befestigungsmöglichkeit und gute Bandstabilität.

Der Eingriff kann arthroskopisch oder über eine Mini - Arthrotomie erfolgen, wobei beide Verfahren als gleichwertig zu betrachten sind. Die Verwendung gestielter Transplantate wurde weitgehend verlassen, da sich keine Verbesserung der Einbauvorgänge gegenüber dem freien Transplantat nachweisen ließen und das erstere oft keine ausreichende Länge aufweist [137, 206]. Das Bandtransplantat wird mit einer Breite von 7-12 mm (meist 9 und 10 mm) aus dem zentralen oder lateralen Drittel (v. a. bei Mini - Arthrotomie) der Patellarsehne entnommen. Die Knochenblöcke werden im Allgemeinen durchbohrt, mit Fäden armiert und auf die Größe der geplanten Bohrkanäle zugerichtet. Als Implantationstechnik haben sich zwei Verfahren etabliert: die Zweikanaltechnik und der femorale Halbtunnel; letztere wird bei der arthroskopischen Operation bevorzugt. Der femorale Knochenblock wird dabei endostal am Femur fixiert. Die Fixation des Transplantats erfolgt durch Interferenzschrauben, die eine sehr stabile Befestigung durch Verklemmung der Knochenblöcke im Bohrkanal ermöglichen. Von fundamentaler Bedeutung ist die korrekte Platzierung des Transplantats innerhalb der Isometriezonen¹⁷ (siehe Abbildung 2). Fehlerhaft angebrachte Bohrkanäle führen zu Bewegungseinschränkungen und Transplantatversagen. Die Lage der Kanäle kann intra- oder postoperativ mittels Röntgenkontrolle überprüft werden. Eine Vorspannung von 10 - 40 N sowie die Rotation des Transplantats um 90° nach außen werden empfohlen, um die Eigenschaften (Reißfestigkeit) in situ zu verbessern.

Die Nachteile dieser Methode werden, neben Komplikationsmöglichkeiten wie retropatellares Schmerzsyndrom, Patellafrakturen, und lokalisierter oder genereller Arthrofibrose, in einer postoperativ länger andauernden Einschränkung der Kniegelenksbeweglichkeit, Schmerzen im Spenderbereich und Beeinträchtigung bei knien-der Tätigkeit gesehen [123, 177]. Ein entsprechend intensives Rehabilitationsprogramm ist deshalb nötig. Ist abzusehen, dass ein Patient nicht in der Lage ist, aus welchen Gründen auch immer, ein solches Programm zu absolvieren, sollte auf andere Verfahren oder konservative Behandlung ausgewichen werden, da ein gutes Operationsergebnis ohne entsprechende Nachbehandlung nicht erzielt werden kann [92].

¹⁷ Siehe dazu auch Kapitel 2.2. Anatomie und Biomechanik.

3. Rehabilitation nach Kreuzbandersatzplastik

3.1. Anforderungen

Die Bedeutung der Rehabilitation von Kniegelenkverletzten ist in den letzten zehn Jahren immer deutlicher geworden. War früher eine Ruhigstellung über mehrere Wochen üblich, so ist dank verfeinerter Operationsmethoden und eines besseren Wissens über das Kniegelenk die Nachbehandlung aggressiver geworden [181, 201]. Es wird versucht, die Nachteile der erforderlichen Immobilisierung, wie Muskelatrophie, Kapselschrumpfung und -verwachsungen, Behinderung der Knorpelernährung und Abnahme der Reißfestigkeit aller Bänder, durch funktionelle, akzeptable Belastung zu minimieren [19, 79, 181].

Die Wichtigkeit einer konsequenten Nachbehandlung, vor allem des Muskelaufbautrainings, wird in einem Zitat von Payr (1934) deutlich: „Der Muskel ist bei der Entstehung eines bestehenden Gelenkschadens ebenso maßgeblich beteiligt, wie dieses selbst. Man könnte viele kranke Gelenke funktionell retten, wenn man in den hierfür entscheidenden Frühstadien auch ihn (d. h. den Muskel) entsprechend behandeln würde.“ [32] Die Wiederherstellung einer kräftigen Quadrizepsmuskulatur steht noch vor der vollständigen Beugefähigkeit an erster Stelle, da eine einmal eingetretene Atrophie bei geschädigtem Gelenk kaum zurückzubilden ist. Eine muskuläre Instabilität bzw. Dysbalance hat deletäre Folgen für das größte Gelenk des Körpers: unter inadäquater Belastung kann es zu Ergussbildung, zu Störungen des Bewegungsablaufes, ungleichmäßiger Gelenkbelastung mit nachfolgender Störung des chondrosynovialen Stoffwechsels, Knorpelschäden und Arthrose kommen [32]. Hoch ist auch die Retraumatisierungsgefahr durch muskuläre Dysbalance.

Die Gratwanderung zwischen maximalem Schutz der rekonstruierten Strukturen und dosierter Belastung hat verschiedene Rehabilitationskonzepte aufkommen lassen. Die Verwendung festerer Materialien und besserer Fixationsmöglichkeiten hat die Notwendigkeit des Schutzes verringert und eine aggressivere Therapie ermöglicht. Die Einteilung der Nachbehandlung in drei Phasen ist üblich, die folgende Tabelle gibt einen Überblick:

1. Phase	2. Phase	3. Phase
„postoperative Schonung“	„Wiederherstellung der Basisfunktion“	„Wiederherstellung der Vollfunktion“
Dauer:		
10 bis 14 Tage	4 bis 6 Wochen	4 bis 6 Monate
Ziele:		
<ul style="list-style-type: none"> • Beseitigung von Reizzuständen • Resorptionsbeschleunigung • Verhinderung von Verklebungen • Atrophieprophylaxe 	<ul style="list-style-type: none"> • Muskelaufbau vor allem Ischiocrurale M. • Koordinationsschulung • Gang mit Vollbelastung • mögl. volle Beweglichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • volle Beweglichkeit • volle Belastbarkeit • Sport- und Berufsfähigkeit
angewandte Methoden:		
<ul style="list-style-type: none"> • Physikalische Therapie (Kryotherapie) • Schmerztherapie • Krankengymnastik (Isometrie, PNF, Frühmobilisierung, Gangschulung, Patellamobilisation) • CPM (Continuous passive mobilisation)¹⁸ • EMS (Elektromyostimulation) • Schienenbehandlung 	<ul style="list-style-type: none"> • Krankengymnastik (Aqua jogging, Kraftübungen, Radfahren, propriozeptives Training) • Physikalische Therapie • EMS 	<ul style="list-style-type: none"> • Trainingstherapie (Isokinetik, propriozeptives Training, Krafttraining, Reaktionstraining)

Tabelle 4: Phasen der Rehabilitation nach Kreuzbandersatzplastik¹⁹

Im Idealfall beginnt die krankengymnastische Behandlung bereits vor der Operation. Nach dem Eingriff schließt sich, abhängig vom Operationsverfahren, eine 2 - wöchige *Phase der Ruhigstellung und Schonung* an. Physikalische Therapie (Lymphdrainage usw.) soll zur Beseitigung des Reizzustandes beitragen, aber auch isometrische Übungen, CPM und Elektromyostimulationstherapie werden bereits jetzt eingesetzt [79]. Viele Chirurgen verwenden in den ersten Wochen Orthesen, die eine graduelle Zunahme der Beweglichkeit gestatten, der Nutzen ist jedoch umstritten [140, 160]. In der *zweiten Phase* wird auf die Wiedererlangung der Beweglichkeit, die Kräftigung der kniestabilisierenden Muskulatur, vor allem der Hamstrings als Agonisten des VKB, Koordinationsschulung und allmähliche Belastungssteigerung Wert gelegt. In der *Schlussphase* der ambulanten Behandlung wird

¹⁸ Zu dieser Behandlungsmethode vgl. [142].

¹⁹ Modifiziert nach [201] S. 978.

die Verbesserung von Kraft, Ausdauer und Koordination bis zur beruflichen Wiedereingliederung bzw. Wiedererlangung der Sportfähigkeit angestrebt [79]. Ob überhaupt und wie lange das Knie ruhiggestellt wird, ab wann volle Belastung erlaubt und ab wann Sportfähigkeit möglich ist - darüber herrscht keine Einigkeit. Untersuchungen über das Einheilungsverhalten von Sehnentransplantaten können als Entscheidungshilfe für die Nachbehandlung angesehen werden. Danach sind 4 Phasen zu unterscheiden:

1. Nekrosephase (0-6. Woche),
2. Revitalisierung (6.-12. Woche),
3. Kollagensynthese (12. - 16. Woche) und
4. Remodeling (andauernd bis 52. Woche).

In den ersten beiden Phasen wird von den Autoren eine dosierte funktionelle Belastung empfohlen, erst ab der 12. Woche sollte eine zunehmende Intensivierung der Nachbehandlung erfolgen [22, 162]. Viele frühfunktionell orientierte Behandlungskonzepte erlauben jedoch schon eher eine zunehmende Belastung des Kniegelenks [95, 115, 170, 181], auch zeigten Untersuchungen von Friederich et al. [55], dass die Belastungen des VKB - Ersatzes bei frühzeitiger aktiver Mobilisation die kritische Grenze der Reißfestigkeit nicht übersteigen. Bei der Zusammenstellung der Nachbehandlung sind assoziierte Läsionen, Begleitoperationen, individuelle Faktoren wie Alter, Bindegewebszustand, Heilungsverhalten, Motivation und Leistungsniveau zu berücksichtigen. Gewarnt wird vor einem starren Festhalten an einem vorgeschriebenen Konzept, vielmehr ist es von Bedeutung, die Therapie individuell an den Patienten anzupassen und den Rehabilitationserfolg regelmäßig zu kontrollieren [181, 201].

3.2. Eigenes Nachbehandlungsschema

Die Patienten dieser Studie wurden im ambulanten Rehabilitationszentrum nach einem einheitlichen Grundschema²⁰ nachbehandelt, wobei das Programm unter Zusammenarbeit von Arzt, Sport- und Physiotherapeuten individuell auf den Patienten ausgerichtet wird. Dabei wird auf mögliche Beschwerden vor, während und nach dem Training eingegangen. Das Operationsverfahren mit Verwendung der Bone-tendon-bone (BTB) - Patellarsehne erlaubt und verlangt eine frühfunktionelle Behandlung; auf die Wiedererlangung der vollen Streckfähigkeit in den ersten Wochen wird wegen der Gefahr des Auftretens eines Cyclops- Syndroms besonders geachtet [181].

²⁰ Siehe Anhang: Belastungsaufbau nach vorderer Kreuzbandplastik.

Präoperativ erfolgt die Anleitung zur Kniescheibenmobilisation und Oberschenkelmuskelkontraktion sowie ein isokinetischer Krafttest am Cybex II.²¹

Nach der Erstversorgung im ambulanten OP-Zentrum soll der Patient am 2. POT²² das Bein hochlagern und kühlen. Am 3. POT wird eine Tutorschiene angelegt, der Patient beginnt mit isometrischen Spannungsübungen (100 x täglich) als Eigentaining und regelmäßiger Benutzung der Bewegungsschiene (CPM 4 x 40 min täglich). Die Patienten der Versuchsgruppe beginnen am 3. POT mit der Elektromyostimulationsbehandlung zu Hause. Nach der 2. POW²³ erfolgt das Anlegen und Einstellen der Knieorthese auf 0°-0°-90° vom Orthopädiemechaniker. In der 2. und 3. postoperativen Woche erhalten die Patienten physiotherapeutische Behandlung (Lymphdrainage und Gangschule mit 10 kg Teilbelastung); Spannungsübungen, CPM und EMS werden fortgeführt.

Nach der 3. POW beginnt die erweiterte ambulante Physiotherapie im Rehazentrum. Der Therapieschwerpunkt liegt auf der *Krankengymnastik* (2 - 4h täglich) zur Schaffung reizfreier Gelenkverhältnisse, freier Beweglichkeit und Aktivierung der Oberschenkelmuskulatur unter Einbeziehung von propriozeptiver neuromuskulärer Fazilitation (PNF). Die Gangschule wird fortgeführt mit Übergang von Teil- zu Vollbelastung (4. - 6. Woche); Koordinationstraining zur Bewegungskontrolle und Beinachsenstabilisation sowie Radfahren und Wasserübungen sind bei Reizfreiheit zu absolvieren. In der 4. POW wird das Bewegungsausmaß der Orthese auf 0°-0°-120° freigegeben.

Ab der 6. POW liegt der Therapieschwerpunkt bei Vollbelastung auf der *medizinischen Trainingstherapie (MTT)*, sofern reizfreie Verhältnisse und gute Beweglichkeit dies erlauben. Es beginnt ein 2-3-wöchiges umfassendes Krafttraining für die Beinmuskulatur (besonders die Flexoren) mit hohem Anteil koordinativer und propriozeptiver Übungen zur Stabilisierung.

Nach Abschluss der ambulanten Rehabilitation in der 7./8. POW wird der Patient angehalten, 2-3 mal pro Woche selbst ein allgemeines, unspezifisches Kraft- und Koordinationstraining weiterzuführen. Ab dem 4. POM²⁴ ist unspezifisches allgemeines Konditionstraining erlaubt; Nicht- und Gelegenheitssportlern werden kniefreund-

²¹ Siehe Kapitel 4.3.2. Cybex - Test.

²² POT= postoperativer Tag

²³ POW= postoperative Woche

²⁴ POM = postoperativer Monat

liche Ausdauersportarten (Radfahren, Schwimmen, Skilanglauf, Wandern, Jogging) empfohlen. Für Leistungssportler sind spezielle Übungen zum Training von Kraft, Koordination, Ausdauer, Schnelligkeit und Beweglichkeit ausgearbeitet worden. Ab dem 9. POM ist eine langsame Rückkehr zur Lieblingssportart bei Freizeitsportlern bzw. Beginn des Mannschaftstrainings bei Leistungssportlern erlaubt, wenn annähernd seitengleiche Kraftverhältnisse und Schmerzfreiheit bestehen.

3.3. Elektromyostimulation

3.3.1. Grundlagen und aktueller Stand der Anwendung

Schon seit langer Zeit ist der Einfluss elektrischer Ströme auf den menschlichen Organismus bekannt. Bereits 400 v. u. Z. wurde das Auflegen von Zitterrochen zur Linderung verschiedener Krankheitsbilder wie Kopfschmerzen und Arthritis empfohlen. Mitte des 18. Jahrhunderts schilderte der deutsche Arzt Katzenstein die Heilung einer Lähmung am kleinen Finger mittels statischer Elektrizität. Auch bei Hemiplegikern sollen Elektroschocks zur Besserung geführt haben [8]. Seit der Beobachtung, dass ein Muskel mittels elektrischer Stimulation zur Kontraktion gezwungen werden kann, ist diese Methode in der Absicht eingesetzt worden, einen Muskel zu kräftigen und leistungsfähiger zu machen.

Bei der Elektromyostimulation (EMS) werden Skelettmuskeln extern durch Wechselströme gereizt und somit zur Kontraktion gebracht. Andere Begriffe für die gleiche Methode sind: Elektromechanotherapie, neuromuskuläre Elektrostimulation, Elektrostimulation (auch als Oberbegriff für die Anwendung elektrischer Ströme zu anderen Zwecken) u. a. [3, 139].

Auf die physiologischen Grundlagen der Muskelkontraktion soll hier nur kurz eingegangen werden, diese sind ausführlich in der Literatur beschrieben [z.B. 8]. Ein Motoneuron versorgt je nach Muskeltyp 3 -1000 Muskelfasern. Erhält diese motorische Einheit einen überschweligen Reiz, kontrahieren immer alle Fasern gleichzeitig. Eine Muskelkraftsteigerung wird durch Rekrutierung zusätzlicher motorischer Einheiten erreicht, dabei können maximal 60 - 70 % aller motorischen Einheiten synchron arbeiten. Bei normaler physiologischer Muskelarbeit werden zuerst die Typ I Fasern, bei höheren Beanspruchungen auch die Typ II Fasern eingesetzt [10].

Durch externe Elektrostimulation werden die Verhältnisse der physiologischen Erregung umgekehrt. Die Muskeln werden nicht direkt, sondern über ihre versorgenden Nerven gereizt, da diese eine niedrigere Reizschwelle als die Muskelfasermembran

haben. Die dicken Axone der Typ II Fasern haben wiederum eine niedrigere Reizschwelle als die dünnen der Typ I Fasern, deshalb werden bei EMS im Gegensatz zur Willkürkontraktion zuerst alle Typ II Fasern erregt, mit zunehmender Intensität dann auch Typ I. Bei genügend hoher Stimulationsfrequenz (50 Hz) und Reizintensität können nahezu 100% aller motorischen Einheiten erreicht werden [10]. Durch EMS wird also kein physiologisches Rekrutierungsmuster erreicht, sie führt zu reizfrequenter synchroner Aktivierung von motorischen Einheiten [127].

Die Anwendungsmöglichkeiten der Elektrostimulation sind vielfältig. In der posttraumatischen und postoperativen Rehabilitation wird EMS bei Muskelkraftdefiziten, Muskeldysbalancen, Atrophien, Innervationsschwächen und Schmerz-hemmungen eingesetzt. Weitere Hauptanwendungsgebiete sind neben dem Einsatz in der Physikalischen Medizin die funktionelle Elektrostimulation und die Therapie denervierter Muskulatur. Einen Überblick über die Anwendungsmöglichkeiten der Elektrostimulation gibt folgende Tabelle:

Anwendungsgebiet	Beispiele
Rehabilitation	Atrophieprophylaxe Atrophiebehandlung
Physikalische Medizin	Schmerztherapie Elektrogymnastik
Funktionelle ES	Atemschrittmacher Beinschrittmacher
Therapie denervierter Muskulatur, Lähmungen	Trophikverbesserung Durchblutungssteigerung Decubitusprophylaxe Erhaltung der Muskulatur Reduktion der Paraspastik Erektile Dysfunktion Infantile Cerebralparese Graciloplastik nach perinealer Colostomie
Leistungssport	Krafttraining
Muskelkräftigung	Skoliosebehandlung Kontrakter Spreizfuß Beckenbodentraining Abdominalmuskulatur post partum Behebung von Dysbalancen

Tabelle 5: Anwendungsgebiete EMS²⁵

²⁵ Zusammengestellt nach: [5, 6, 38, 96, 127, 152, 157, 179, 195, 203, 205].

Kontraindikationen für eine EMS- Behandlung sind: Schwangerschaft und offene Wunden im Stimulationsgebiet. Bei Patienten mit Herzschrittmachern und Herzrhythmusstörungen ist besondere Vorsicht geboten [8].

Die Vorzüge der EMS in der Rehabilitation gegenüber willkürlicher Muskelanspannung sind die Aktivierung des gesamten kontraktilen Apparates über einen längeren Zeitabschnitt und mit zahlreicheren Wiederholungsmöglichkeiten [96]. Des Weiteren können bestimmte Muskelgruppen gezielt trainiert werden, das ist in der Knierehabilitation besonders für den M. vastus medialis, der von Immobilisation besonders stark betroffen wird und nur schwer aufzutrainieren ist, von Bedeutung [34, 114]. EMS kann bereits 1 - 2 Tage nach der Knieoperation eingesetzt werden, also zu einem Zeitpunkt, wo Willkürkontraktion durch Reflexinhibition kaum möglich ist [12, 176]. Nachteile sind die fehlende äußere und innere Koordination, das unphysiologische Rekrutierungsmuster, die sensible Belastung und die eher isometrische Muskelspannung [96].

3.3.2. Wirkungsmechanismen der EMS auf die Muskulatur

Die Wirkung der EMS auf den Muskel ist eine Folge des ausgelösten Kontraktionsvorgangs und nicht des elektrischen Stroms selbst. Es können adaptive Veränderungen auf mehreren Regulationsebenen hervorgerufen werden. Auf der Ebene der *Muskelzelle* führt der erhöhte Energieverbrauch zur Anregung des Muskelstoffwechsels. Eine wiederholte Belastung an der Leistungsgrenze bedingt Anpassungsreaktionen mit dem Ergebnis der Erhöhung des Leistungsvermögens der Muskelzelle als Energiewandler insgesamt. Auf *sensomotorischer* Regulationsebene führt die Belastung der sensomotorischen Regelkreise zu einer Optimierung der Regel- und Steuerleistung. Dabei wird durch Verschiebung des Arbeitspunktes die Sensibilität erhöht. Die erzwungene synchrone Aktivierung der Muskelfasern hat zum ersten einen assoziativen Effekt zur Folge, dadurch erhöht sich die Verfügbarkeit der muskulären Leistung, zum zweiten aktiviert die erzeugte Flut afferenter Signale höchste Zentren des Zentralnervensystems. Eine Kombination von EMS und Willkürkontraktion über längere Zeit vermag motorische Lernprozesse auszulösen, die eine Verbesserung der Kommunikationsleistung der ideomotorischen und sensomotorischen Systeme bewirken [17].

3.3.3. EMS - Effekte auf die Muskulatur

Zahlreiche Arbeiten berichten über eine positive Wirkung der EMS auf die Muskelkraft [5, 8, 47, 107, 113, 139]. Das betrifft vor allem die isometrische Kraft; die dy-

namische ist , wenn überhaupt, schwerer zu beeinflussen [23, 106]. Auch die Ausdauerereigenschaften werden verbessert [17, 96]. Die gefundene Umfangsvergrößerung (meist des Oberschenkels) und die Abnahme der Hautfaltendicke sind Ausdruck der Muskelhypertrophie, das wurde durch CT-Untersuchungen bestätigt [27, 47, 174]. Diese Veränderungen trifft durch den „Cross- Over- Effekt“ auch die nichtbehandelte Gegenseite [21]. Auch die passiv-mechanischen Eigenschaften des Muskels ändern sich durch EMS: Ullmann et al. führen die Vermehrung von Gesamtkompressibilität und elastischer Retraktion auf Veränderungen des Blutflusses und Flüssigkeitshaushaltes zurück [188].

Folgende strukturelle Veränderungen konnten in Studien nachgewiesen werden [8, 44, 64, 96, 97, 204]:

- Vergrößerung des Muskelfaserdurchmessers
- Erhöhung der Kernzahl und -größe, des DNA-Gehalts der Kerne und des Eucromatin- Anteils
- Zunahme der Mitochondriendichte und des Mitochondrienvolumens
- verbesserte Kapillarisation
- geringere Abnahme der Eiweißsyntheserate sowie der Enzymaktivität (Citrat-Synthase, Triphosphat- Dehydrogenase) bei Immobilisierung im Vergleich zur nichtstimulierten Gegenseite

Ob durch EMS eine Fasertransformierung hervorgerufen werden kann, darüber gibt es verschiedene Meinungen. Langandauernde niederfrequente Stimulation (30 - 35 Hz) soll eine vermehrte Faser I - Typisierung bewirken. Einige Autoren fanden jedoch keine Veränderungen [66, 202, 106].

3.3.4. EMS - Parameter

In der Elektrostimulation werden Gleich- und Wechselströme eingesetzt. Gleichströme finden Anwendung zur Durchblutungssteigerung, z. B. bei Neuralgien oder zur Iontophorese. Bei Wechselströmen muss zwischen monophasischen und biphasischen Kurvenverläufen unterschieden werden. Monophasische Impulse beginnen bei Null und fallen nie unter diesen Wert, sie verursachen einen Ionenstrom im Gewebe und haben dadurch unangenehme Nebenwirkungen. Deshalb werden Wechselströme mit biphasischen Kurvenverläufen bevorzugt, bei denen der Nettostromfluss Null ist. Um Rechteckanteile zu vermeiden, werden Exponential- oder Schwellströme benutzt, was den Behandlungskomfort verbessert [10, 96].

In dieser Arbeit wird die Elektromyostimulation zur Atrophieprophylaxe und -behandlung eingesetzt, deshalb soll im Folgenden nur auf diesen Teilbereich der Elektrostimulation eingegangen werden. Verschiedene Parameter haben Einfluss auf den Effekt der Behandlung: Stimulationsfrequenz, Impulsstärke und -dauer, Stimulations- und Pausenzeit, Elektrodentyp, -größe und -anzahl. Des Weiteren sind Behandlungsdauer und Trainingsmethoden von Bedeutung.

Stimulationsfrequenz: Grundsätzlich werden Niederfrequenz- (bis maximal 1000 Hz) und Mittelfrequenzstimulation (1000- 100 000 Hz) unterschieden. Mittelfrequente Ströme sind in der Praxis meist abgewandelt, z. B. amplitudenmodelliert oder frequenzmodelliert. Sie stimulieren im Gegensatz zu niederfrequenten Strömen die Muskelfasern direkt. Die Anwendung ist umstritten [8], die Vorzüge sollen in geringerer sensibler Belastung und einem anästhesierenden Effekt liegen [105]. Die Höhe der Frequenz beeinflusst die Stärke der Muskelkontraktion, zu hohe Frequenzen führen jedoch rascher zur Ermüdung. Um eine maximale Ansteuerung des Muskels und einen vollständigen Tetanus zu erreichen, haben sich Frequenzen um 50 Hz als ausreichend erwiesen [8, 38].

Impulsstärke und Impulsdauer: Die Chronaxie (Zeitbedarf) der zu stimulierenden Nervenfasern bestimmt die Impulsdauer, sie liegt bei etwa 400 (80 - 800) Mikrosekunden. Auch die Impulsstärke (entspricht der Stromstärke) muss ein Mindestmaß überschreiten, um eine Depolarisation herbeizuführen. Dieses liegt bei Personen mit starkem Unterhautfettgewebe oft höher. Bei ca. 100 mA ist mit einer kompletten Rekrutierung aller über die Nervenfasern gereizten motorischen Einheiten zu rechnen; noch höhere Werte haben keinen weiteren positiven Effekt. Impulsstärke und -dauer sind miteinander verknüpft. Die Erhöhung von jeweils einem der Parameter oder auch beider verstärkt die Muskelkontraktion. Bei der allgemein üblichen Impulsdauer von 300 µs kann die Stromstärke zwischen 15 und 40 mA variiert werden, je nach Verträglichkeit. Sie sollte jedoch, um den bestmöglichen Effekt zu erzielen, bis an die Toleranzgrenze geregelt werden, das geschieht am besten durch den Patienten selbst, wie Untersuchungen gezeigt haben [8, 38].

Stimulations- und Pausenzeit: Das zeitliche Verhältnis zwischen Stimulationsdauer und nachfolgender Pause wird auch als *ON : OFF - Relation* bezeichnet. In der ON Zeit sollte der Muskel bei maximaler Intensität erschöpfend beansprucht werden, das ist bei Stimulationszeiten von 5 - 10 s der Fall. Die nachfolgende Pause dient der Auffüllung der Energiespeicher und der funktionellen Restitution der motorischen Endplatte. Sie sollte mindestens doppelt so lang wie die ON - Zeit sein, als

optimal wird eine ON : OFF - Ratio von 1 : 5 angesehen. Zu kurze Pausenzeiten führen zu rascher Muskelermüdung und mindern somit den Trainingseffekt [8, 38].

Elektrodentyp, -anzahl und -größe: Als Oberflächenelektroden stehen Silikon-Graphit-Dauerelektroden und Haftelektroden zur Verfügung. Dauerelektroden werden befeuchtet und mit Elastikgurten befestigt. Die Oberfläche der Elektroden muss glatt sein und gut anliegen. Die Maße der Elektroden sind von Muskellänge und -querschnitt abhängig. Sie sollten möglichst groß gewählt werden, weil mit großen Elektroden das gleiche Kraftmoment viel früher erreicht werden kann, als mit kleinen. Außerdem verursachen zu kleine Elektroden wegen der hohen Stromdichte leicht Hautirritationen. Für den M. quadrizeps femoris werden Größen von 9x9cm bis 10x20cm empfohlen, günstiger ist der Einsatz von 2 Elektrodenpaaren [18, 38, 96].

Elektrodenteknik und -platzierung: Die Elektrodentechnik kann bipolar (zwei gleich große Elektroden über dem Muskel) oder monopolar (eine Elektrode über dem Nervenreizpunkt) sein. Für die Stimulation der Oberschenkelmuskulatur wird allgemein die bipolare Technik bevorzugt. Um möglichst alle Köpfe des M. quadrizeps zu erreichen, sollte dieser mit zwei Kanälen, d. h. 4 Elektroden stimuliert werden. Hier wählt man eine leicht mediale und leicht laterale Anlage eines Kanals, jeweils auf Muskelfang und -ende [18, 38].

Behandlungsdauer: Hinsichtlich der Dauer einer Stimulationsbehandlung finden sich in der Literatur verschiedene Empfehlungen. In einem Expertengespräch zum Einsatz der EMS in der Traumatologie wurden 3 x täglich 30 min vorgeschlagen [139, 202]. Sowohl Buhmann et al. [25] als auch Kunz [113] und Doench [35] fanden bereits nach 2 x 30 min täglich signifikant bessere Kraftwerte. Felder et al. [47] verwendeten 1x täglich 45 - 60 min zur Kraftsteigerung nach Verletzung und Operation mit Erfolg. Hörster und Kedziora [88] fanden einen positiven Einfluss der EMS nach 3 - 5 x 30 min Behandlung pro Tag. Eine Übersicht über ältere Studien findet sich bei Edel [38]. Die Gesamtdauer der Behandlung richtet sich nach Immobilisationsdauer und Atrophiegrad, sie sollte ca. 4 - 10 Wochen betragen [107].

Trainingsparameter: Die EMS - Behandlung wird üblicherweise am sitzenden oder liegenden Patienten bei leicht gebeugtem Knie (Knierolle) als statische (isometrische) Methode durchgeführt. Eine Mitarbeit des Patienten im Sinne einer gleichzeitigen isometrischen Anspannung des M. quadrizeps wirkt unterstützend auf den EMS- Effekt [10, 99].

3.3.5. Objektivierungsmöglichkeiten der EMS

Um die Effekte der Elektrostimulationsbehandlung nachweisen zu können, gibt es verschiedene Objektivierungsmöglichkeiten. Wie in den vorangehenden Kapiteln bereits erläutert, bewirkt EMS sowohl Kraftzuwachs, als auch Muskelhypertrophie, verbesserte Nerv - Muskel - Koordination, Modifikation der passiv-mechanischen Eigenschaften und strukturelle Änderungen der Muskelzellen.

Zur Bestimmung der *Muskelkraft* werden im allgemeinen computergesteuerte Dynamometer (isokinetische Systeme, z. B. Cybex II) benutzt. Als Messparameter dient die Maximalkraft bei einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit.²⁶ Soll die isometrische Maximalkraft als Messparameter verwendet werden, kommen neben isokinetischen Systemen auch Dehnungsmessstreifendynamometer [21, 99], Kraftmessdosen [47] und andere Dynamometer [27, 189] zur Anwendung.

Um die *Muskelhypertrophie* nachweisen zu können, ist ein gebräuchliches Verfahren die Bestimmung des Oberschenkelumfangs an genau festgelegten Messpunkten (z. B. 10 und 20 cm oberhalb des medialen Kniegelenkspalts) vor, während und nach der Behandlung [35, 107]. Diese Methode ist ohne großen Aufwand auszuführen, wird jedoch wegen des begrenzten Aussagewertes von einigen Autoren abgelehnt [99, 129, 191]. Um das Unterhautfettgewebe beurteilen zu können, nehmen manche Autoren Messungen der Hautfaltendicke vor [27]. Genauere Ergebnisse liefern bildgebende Verfahren, sie sind wegen des größeren Aufwands jedoch nur begrenzt einsetzbar. Durch Computertomographie, Sonographie und Magnetresonanztomographie können Muskelquerschnittsveränderungen sicher und genau nachgewiesen werden [11, 13, 57, 164, 204].

Änderungen im *Nerv - Muskel - Zusammenspiel* können durch Oberflächen - Elektromyographie (EMG) objektiviert werden. Das EMG - Signal lässt zusätzlich auch Aussagen über die Muskelkraft zu [47, 88]. Myo - Feedback - Verfahren ermöglichen neben der Selbstkontrolle der Muskelkontraktion ebenso eine Aussage über die Muskelaktivität und werden deshalb auch diagnostisch eingesetzt [25, 35]. Eine weitere Möglichkeit der Erfassung neuromuskulärer Veränderungen bietet das Fastex- Test- und Trainingssystem - im Kapitel 4.3.3. Fastex wird darauf näher eingegangen.

²⁶ Siehe Kapitel 4.3.2. Cybex-Test.

Um *strukturelle Veränderungen* der Muskelzellen bestimmen zu können, werden Muskelbiopsien mit anschließendem mikroskopischen und enzymhistochemischen Verfahren durchgeführt. Diese Untersuchungen bleiben speziellen Fragestellungen vorbehalten [13, 33, 65, 66, 204].

Zur Bestimmung der *passiv mechanischen Eigenschaften* der Muskulatur dient die Myomechanographie. Tonuskomponenten wie elastische Retraktion und Gesamtkompressibilität werden durch EMS beeinflusst, was die Autoren auf veränderte Durchblutungsverhältnisse zurückführen [50, 81, 188, 194].

Da Muskel und Gelenk eng zusammenhängen, werden in Studien, die sich mit EMS nach Knieverletzung befassen, auch Objektivierungsmethoden der Kniegelenksfunktion einbezogen. Dazu gehören u. a. die Prüfung der Stabilität (Lachmann - Test, KT 1000)²⁷ und verschiedene Scores (OAK, Marshall, IKDC, Cincinatti, Lysholm u. a.) [153]. Der Lysholm - Score ist als subjektiver Score einfach mittels Fragebogen zu erheben und wird häufig nach Kniebandoperationen eingesetzt.²⁸

4. Material und Methode

4.1. Das Reha - Zentrum am Kreuz Erfurt

Das ambulante orthopädisch- traumatologische Rehabilitationszentrum in Erfurt existiert seit 1994. Es ermöglicht die umfassende Betreuung Verletzter und chronisch Kranker durch die erweiterte ambulante Physiotherapie. Das Behandlungsspektrum umfasst sämtliche moderne Methoden der Krankengymnastik und physikalischen Therapie wie medizinische Trainingstherapie, Elektrotherapie, Bäder, Wärme - und Kältetherapie u. v. m.. Die räumliche Nähe von ambulantem Operationszentrum und Rehabilitationseinheit erweist sich als Vorteil für die Patienten.

4.2. Patientengut

Von den in der Zeit von Mai 1998 bis einschließlich Januar 1999 im Reha- Zentrum Erfurt am Urbicher Kreuz mit einer vorderen Kreuzbandersatzplastik versorgten Patienten wurden anfänglich 116 in die Studie aufgenommen. Davon schieden 24 Patienten aus verschiedenen Gründen (Abbruch der Rehabilitation, Krankheit, Nachbehandlung in anderen Rehabilitationseinrichtungen u. a.) aus, so dass Daten

²⁷ Siehe Kapitel 4.3.5. Lachmann - Test.

²⁸ Siehe Kapitel 4.3.7. Lysholm-Score.

von 92 Patienten vorliegen. Der Altersdurchschnitt betrug 29,2 Jahre (17-54 Jahre), 18,5% der Patienten waren Frauen. Als Verletzungsursachen ergaben sich 73 Sportunfälle, 6 Arbeitsunfälle, 5 Verkehrsunfälle und 5 Unfälle anderer Ursache (s. Abb. 6).

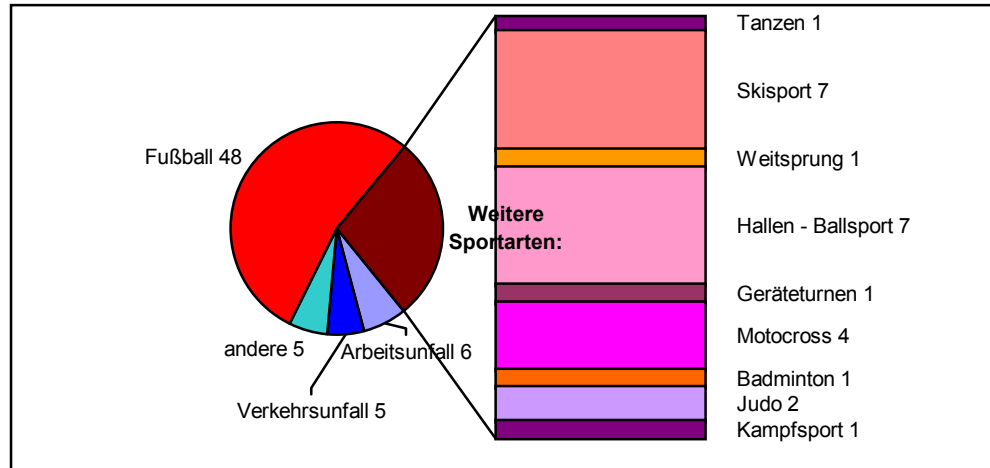


Abbildung 6: Verletzungsursachen

Im Durchschnitt lag eine Spanne von 19,4 Monaten (1-144 Monate) zwischen Verletzungszeitpunkt und Operation. Häufiger (in 54,3% der Fälle) war das rechte Knie verletzt. Als Begleitverletzungen wurden vor allem Knorpelschäden 2. und 3. Grades (48), Meniskusläsionen (46) sowie Seitenbandläsionen (11) gefunden, oft in Kombination (s. Abb. 7).

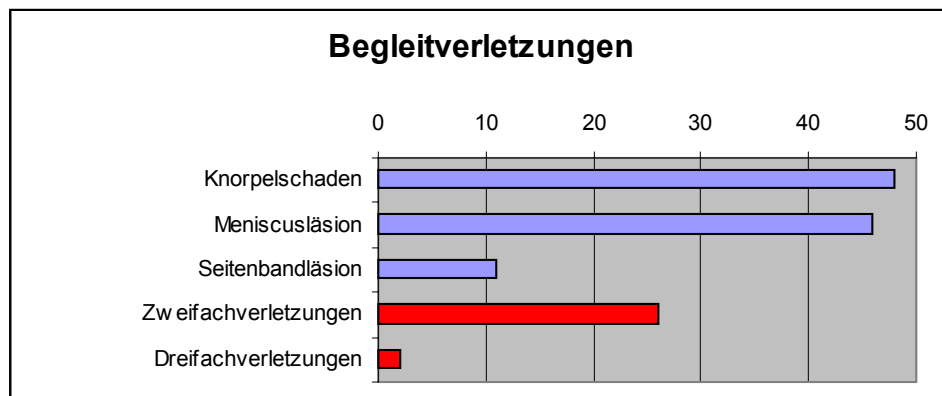


Abbildung 7: Begleitverletzungen

4.3. Methode

Wir wählten ein Patientenkollektiv, das von nur *einem* erfahrenen Operateur nach einer Methode (modifiziert nach Brückner²⁹) ambulant operiert wurde und welches dasselbe Nachbehandlungsprogramm³⁰ im gleichen Reha- Zentrum durchlief. Die Versuchsgruppe (=EMS-Gruppe) unterschied sich von der Kontrollgruppe nur durch den zusätzlichen Einsatz der Elektromyostimulation. Die Einteilung in EMS- und Kontrollgruppe erfolgte zufällig, d. h. alle montags operierten Patienten erhielten ein EMS- Gerät zur Heimbehandlung, alle dienstags operierten fungierten als Kontrollgruppe. Ob die EMS eine Verbesserung des Behandlungsergebnisses mit sich bringt, sollte anhand mehrerer Untersuchungsverfahren ermittelt werden. Um eine Aussage über die muskuläre Situation machen zu können, wählten wir als Methoden einen Maximalkrafttest am Cybex II, Stabilitäts- und Koordinationstests am Fastex und Oberschenkelumfangmessungen. Als subjektiver Beurteilungsmaßstab diente der Lysholm - Score. Des weiteren wurde das Aktivitätsniveau nach Tegner, die Bandstabilität mittels Lachmann - Test und der Bewegungsumfang nach Neutral-Null-Methode erfasst. Auf die Methoden im Einzelnen wird noch genauer eingegangen.

Am Operationstag absolvierten alle Patienten noch vor der Operation einen Krafttest am Cybex II und füllten im Wartezimmer ohne Einfluss eines Untersuchers einen Fragebogen aus, wobei sie Angaben zu Befinden (Lysholm - Score) und Aktivitätsniveau (nach Tegner) machen sollten. Sechs Wochen postoperativ wurde zum Zeitpunkt der vollen Belastbarkeit ein Fastex - Test durchgeführt und nochmals ein Fragebogen (Lysholm - Score) ausgefüllt. Zwölf Wochen nach der Operation wurden die Patienten zum zweiten Cybex - Test bestellt, der zu den gleichen Bedingungen wie präoperativ durchgeführt wurde. Am OP-Tag sowie in der 2., 6. und 12. Woche wurde der Oberschenkelumfang bestimmt. Die Bandstabilität nach Lachmann testete der behandelnde Chirurg vor der Operation und ca. 9 Monate danach. Ebenfalls 9 Monate postoperativ wurden die Patienten zur Abschlussuntersuchung einbestellt, ein Bestandteil ist routinemäßig ein isokinetischer Krafttest am Cybex II (gleiche Bedingungen wie präoperativ). Die Ergebnisse dieses Tests wurden, soweit vorhanden, in die Studie aufgenommen. Im Durchschnitt 1,5 Jahre nach der Operation wurde an alle Patienten ein Fragebogen³¹ verschickt. Dieser enthielt den Lysholm - und Tegner - Score sowie allgemeine Fragen zum Behandlungsergebnis.

²⁹ Siehe Kapitel 2.6.2.2. Patellarsehnentransplantat nach Brückner.

³⁰ Siehe Kapitel 3.2. Eigenes Nachbehandlungsschema.

³¹ Siehe Kapitel 4.3.9. Fragebogenaktion und Anhang 3: Fragebogenaktion per Post.

4.3.1. EMS - Behandlung

Da es sich bei dem vorliegenden Krankengut ausschließlich um ambulant operierte Patienten handelt, wurde die EMS- Behandlung von den Patienten selbst zu Hause durchgeführt. Dafür erhielten sie einen batteriebetriebenen Muskelstimulator für 4 Wochen mietweise verordnet. Wir verwendeten den menügesteuerten 2-Kanal-Muskelstimulator Modell 262 PolyStim der Firma BMR GmbH. Dieses kleine und handliche Gerät ist mit 10 Programmen ausgestattet und lässt sich sowohl im Synchron- als auch im Gegentakt betreiben. Über einen Intensitätsregler kann die Stromstärke vom Patienten selbst eingestellt werden. Das Gerät zeigt sowohl die Restbehandlungszeit der einzelnen Sitzung als auch die Totalbehandlungszeit an, was eine Kontrolle der Patientencompliance ermöglicht. Die technischen Daten sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Technische Daten 262 PolyStim	
Betriebsspannung	9 Volt
Amplitudenspitzenspannung	50 V
Ausgangsspannung	<10 V RMS (500 Ohm)
Amplitudenspitzenstrom	170 mA
Ausgangsstrom	<9,9 mA RMS (500 Ohm)
Pulstyp	Geglättete, biphasisch reitierende Phasenfolge mit zusätzlicher asymmetrischer Nulllinienkompensation

Tabelle 6: Technische Daten 262 PolyStim³²

Für die Behandlung war Programm 2 eingestellt, welches vom Hersteller für die isometrische Kraftrehabilitation empfohlen wird.³³ Die voreingestellten Parameter entsprechen den allgemein üblichen und empfohlenen Richtlinien, wie sie im Kap. 3.3.4. EMS – Parameter dargestellt wurden:

EMS - Parameter:	
Reizfrequenz:	50 Hz
ON/OFF - Zeit:	10s/20s
Pulsweite:	250 µs
Pulsform:	volle Amplitude, biphasisch reitierende Phasen
Ausgangswerte:	8,5 mA; 4,4 V
Behandlungszeit:	30 min
Elektrodengröße:	7 cm, rund

³² Vgl. [18] S. B6.

³³ Vgl. [18] S. B3.

Tabelle 7: EMS - Parameter³⁴

Die Einweisung der Patienten in die Handhabung des Muskelstimulators übernahmen zwei erfahrene Krankenschwestern. Ab dem 2. postoperativen Tag sollten die Patienten 3 x täglich für 30 min eine Selbstbehandlung durchführen. Diese erfolgte im Sitzen oder Liegen, das Bein wurde dabei mittels einer Knierolle in leicht gebeugter Stellung gelagert. Die Elektrodenpaare wurden mittels Gurten über dem M. quadrizeps femoris jeweils leicht medial und leicht lateral, am Muskelanfang und -ende (abhängig vom Schwellungszustand des Kniegelenks), wie in der Abbildung 8 ersichtlich, befestigt. Während der elektrischen Muskelstimulation sollten die Patienten die Oberschenkelmuskulatur aktiv anspannen. Bei Rückgabe des Gerätes (nach 4 Wochen) wurde die Totalbehandlungszeit (auch Stimulationszeit genannt, errechnet sich aus der Summe aller Einzelbehandlungszeiten) notiert. Diese Kontrollmöglichkeit war den Patienten nicht bekannt.



Abbildung 8: Elektrodenanlage

4.3.2. Cybex - Test

Das Cybex II Gerät ist ein isokinetisches Test- und Trainingsgerät mit einem kombiniert mechanisch - hydraulisch - elektronischen Regelsystem, das bei einer Vielzahl von Gelenkbewegungen angewandt werden kann.

³⁴ Vgl. [18] S. B3.



Abbildung 9: Cybex II im Einsatz

Die isokinetische Bewegung ist eine Sonderform der Kontraktion, bei der die Bewegungsgeschwindigkeit über das gesamte Bewegungsausmaß konstant bleibt. Erreicht wird das durch einen sich in jeder Gelenkposition anpassenden Gerätewiderstand an die vom Patienten aufgebrauchte Kraft - dadurch ist auch die Gefährdung des Gelenks durch zusätzliche Beschleunigungs- und Bremskräfte gering [74]. Der Cybex II ermöglicht konzentrische (positiv dynamische), exzentrische (negativ dynamische) und isometrische (statische) Arbeitsweisen der Muskulatur. Anwendungsgebiete isokinetischer Systeme sind vor allem die diagnostische Objektivierung von Muskeldefiziten und Muskeldysbalancen sowie die Verlaufsbeurteilung therapeutischer und trainingsmethodischer Maßnahmen [130]. Muskelfunktionstests an isokinetischen Systemen, wie z. B. dem Cybex II, Lido-Aktive, Kin-Com (USA), Kin-Trex (Schweiz), Akron (GB) und Biodex-System sind heute allgemein üblich. Der Einsatz des isokinetischen Trainings im Rahmen der Therapie ist jedoch umstritten [130, 156].

Ein verlässlicher Messparameter bei isokinetischen Tests ist das maximale Drehmoment. Darunter versteht man den höchsten Kraftausschlag (in Nm) während eines einzelnen Bewegungszyklusses. In der Regel wird das arithmetische Mittel der Drehmomentmaxima (DMM) mehrerer Bewegungszyklen bestimmt. Das maximale Drehmoment ist von der vorgegebenen Geschwindigkeit abhängig - je höher diese gewählt wird, desto geringer ist die erreichbare Maximalkraft. Die größtmögliche von einer Muskelgruppe erbringbare Kraft wird bei isometrischer Kontraktion (Geschwindigkeit = Null) erzielt. Um die Messergebnisse vergleichen zu können, wird im allgemeinen die kontralaterale Seite als Bezugspunkt (100%) verwendet. Von einer gesicherten Seitendifferenz kann ab 10% Unterschied ausgegangen werden. Von Bedeutung für die Muskelfunktionsdiagnostik ist auch das Verhältnis von Oberschenkelbeuge- und -streckmuskulatur (H/Q -Quotient). Beide Muskelgruppen stehen in einem physiologischen Gleichgewicht, das bei Isometrie oder niedrigen Testgeschwindigkeiten etwa 0,6 - 0,7 beträgt. Dieser Quotient nimmt mit wachsender Geschwindigkeit zu, Ursache dafür ist der relativ geringere Kraftverlust der Flexoren. Bei Bewertung des H/Q-Quotienten ist die hohe interindividuelle Variabilität zu berücksichtigen. Weitere Messparameter sind die maximale Arbeit und die maximale Leistung, sie ergeben aber keine zusätzlichen Informationen [74, 130, 163].

Auf die Bedeutung der gewählten Testgeschwindigkeit für das maximal erreichbare Drehmoment wurde bereits eingegangen. Da es sich beim Cybex II um Drehbewegungen handelt, werden Winkelgeschwindigkeiten in °/sec angegeben. Übliche Testgeschwindigkeiten sind 60, 120, 150, 180, 240 und 300°/sec. Ab 180°/sec

nimmt die Beeinflussung der Bewegung durch Beschleunigungs- und Bremskräfte stark zu, bei Geschwindigkeiten über 300°/sec wird die Ergebnisinterpretation schwierig [57, 80, 130, 163]. Bei der Auswahl der Testgeschwindigkeit ist auch zu beachten, dass bei schnellen Bewegungen zwar die erreichbare Maximalkraft geringer, aber auch die intraartikuläre Spannungsentwicklung niedriger ist als bei langsamen [170]. Die Patienten der vorliegenden Studie wurden deshalb bei einer Winkelgeschwindigkeit von 120°/sec getestet.

Unterschiedliche Meinungen gibt es zu der Frage, ab welchem Zeitpunkt nach Kreuzbandrekonstruktion ein Cybex - Test durchgeführt werden kann. Befürchtet wird eine Elongation des Transplantates durch Ziehen des Kniegelenks in die vordere Schublade bei der Quadrizepskontraktion [74]. Je später ein Test nach Operation vorgenommen wird, um so geringer ist das Risiko einer Knieverletzung. Auch lassen postoperativ oft noch lang andauernde Schmerzen und Unsicherheiten einen aussagekräftigen Muskelfunktionstest erst nach Ablauf einiger Monate zu. In der hier vorliegenden Studie soll der Einfluss einer Elektromyostimulationsbehandlung auf die Krafteigenschaften der Oberschenkelextensoren untersucht werden. Um einen eventuellen Unterschied zwischen EMS- und Kontrollgruppe erkennen zu können, wäre ein Testzeitpunkt nach Ablauf der EMS- Behandlung, also in der 5. postoperativen Woche, optimal. Das ist aber aus obengenannten Gründen nicht möglich. Deshalb wurde in Absprache mit dem Operateur und den Therapeuten als frühestmöglicher Zeitpunkt die 12. postoperative Woche angesehen. Dieser frühe Zeitpunkt ist nicht allgemein üblich³⁵, jedoch fanden Hehl et al. [80] nach isokinetischem Training und Tests ab der 7. und Buhmann et al. [25] ab der 9. postoperativen Woche keine Stabilitätseinbußen.

Durchführung des Cybex - Tests (siehe Foto Abb. 9): Der Cybex - Test wurde am Operationstag, in der 12. postoperativen Woche und im 9. postoperativen Monat (routinemäßig) durchgeführt. Nach einer 10 - minütigen Aufwärmphase am Fahrradergometer wurde der Patient auf dem Gerät aufrecht sitzend mit frei hängendem Unterschenkel platziert und dieses an die Körpermaße angepasst (Sitztiefe, Sitzvorschub, Hebellänge). Alle eingestellten Parameter wurden im Programm gespeichert und bei der 2. Messung exakt reproduziert. Der Hüftgelenkwinkel wurde auf 75° (Rückenlehne) eingestellt, um eine möglichst leichte Streckung im Kniegelenk zu ermöglichen. Der Unterschenkel wurde mit einer Schaumstoff - Ledermanschette proximal der Malleolengabel fixiert. Die Hände der Testperson lagen auf dafür vor-

³⁵ In der 14. Woche: [75, 170], ab 3. Monat: [67, 163].

gesehenen Griffen. Der Oberkörper wurde mit einem Gurt an der Rückenlehne gehalten, um eine Mitarbeit der Rumpfmuskulatur zu vermeiden. Mit einer Klettverschlussmanschette wurde der Oberschenkel der Testperson proximal des Kniegelenks festgeschnallt, das Bewegungsausmaß bestimmt und am Gerät eingestellt. Dem Patienten wurde die Funktionsweise des Cybex II erklärt und er hatte die Möglichkeit, mit nur leichtem Kraffteinsatz einige Probebewegungen auszuführen. Danach erfolgte der Test mit 5 Extensions- Flexions- Bewegungen. Zuerst wurde die unverletzte Seite getestet, danach die verletzte. Die Ergebnisse wurden als bilateraler Kurzbericht ausgedruckt und mit dem Patienten besprochen. Im Einzelnen wurden vom Computerprogramm berechnet und ausgegeben:

- Drehmomentmaxima der Extensoren und Flexoren (gemittelt aus allen 5 Bewegungszyklen) in Nm
- DMM pro kg Körpergewicht in %
- Arbeit in J
- Arbeit pro kg Körpergewicht in %
- durchschnittliche Leistung in W
- Seitendifferenz in % für alle Werte
- H/Q - Quotienten in %
- Kraft - Gelenkwinkel - Kurven

Für die Auswertung wurden die DMM der Extensoren und Flexoren und die H/Q-Quotienten beider Beine erfasst. Die folgende Tabelle gibt eine Zusammenfassung aller wichtigen Parameter des Cybex - Tests:

Cybex - Testparameter:	
Zeitpunkt:	Unmittelbar präoperativ und 12. postoperative Woche (+ 9. postoperativer Monat)
Erwärmung:	10 min Fahrradergometer
Programm:	0101
Belastungsmodus:	Dynamisches Ramping
Belastungsart:	Konzentrisch / konzentrisch (für Extension/Flexion)
Testgeschwindigkeit:	120°/s
Wiederholungen:	5 ohne Pause
Rückenlehne:	75°

Tabelle 8: Cybex - Testparameter

4.3.3. Fastex

Wie in Kapitel 2.5. Verletzungsfolgen erläutert, kommt es nach Kniebandverletzung häufig zu einer Störung der neuromuskulären Koordination. Eine gute und sehr sensitive Möglichkeit, diese Veränderungen zu erfassen, bietet die Oberflächenelektromyographie - diese stand uns aus personellen, zeitlichen und gerätetechnischen Gründen für diese Studie jedoch nicht zur Verfügung. Eine andere Methode, neuromuskuläre Veränderungen zu erfassen, ist der Einsatz dynamischer Testverfahren. Das Fastex- Test- und Trainingssystem ermittelt die Funktion des aktiven und passiven Bewegungsapparates während der Belastung. In der Literatur finden sich darüber kaum Hinweise, deshalb soll an dieser Stelle dieses System näher erläutert werden.

Fastex, das "Functional **A**ctivity **S**ystem for **T**esting and **EX**ercise". ermöglicht es, neuromuskuläre Funktionsabläufe in der geschlossenen Bewegungskette quantitativ, qualitativ und schnell zu erfassen. Speziell die Analyse eventueller Dysbalancen im Lateralvergleich sind unkompliziert. Eingesetzt als Therapiesystem können durch gezieltes Training entsprechender Bewegungsmuster Störungen koordinierter Bewegungsabläufe abgebaut werden.

Bei der vorliegenden Arbeit wird eine Gummimatte mit 8 darin eingelassenen Messplatten verwendet, auf der die Testpersonen vorgeschriebene Übungen verschiedener Schwierigkeitsgrade ausführen. Eine Computeranlage mit einem speziellen Software-Programm steuert das System. Auf der Platte werden Oszillationen durch Stand, Tritt oder Sprung gemessen, also keine direkten Kräfte. Die erzeugten Schwingungen werden nach außen geleitet, über das Messfeld registriert und zum Computer gesendet (siehe Abbildung 10). Die gemessenen Parameter werden immer in Beziehung zum Faktor Zeit gesetzt. Auf diese Weise ist es möglich, zeitabhängige Aussagen zu machen, beispielsweise Stabilisationszeiten aus dem Stand oder aus der Bewegung, Schwebezeiten, Kontaktzeiten. Weiterhin können auch Reaktionszeiten nach geplanten oder ungeplanten Bewegungsabläufen registriert werden.

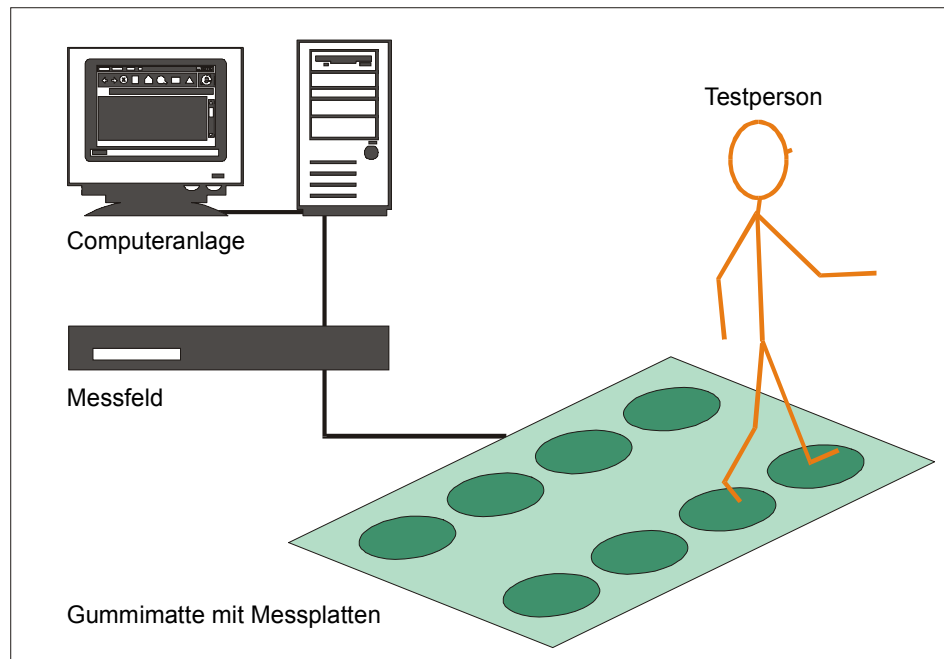


Abbildung 10: Fastex - schematische Darstellung

Die Tests sind in vier Komplexe eingeteilt:

1. Einbeinige Tests im bilateralen Vergleich
2. Beidbeinige Tests
3. Seitenvergleich geradliniger Bewegungsabläufe
4. Analyse komplexer Bewegungsabläufe.

Für die EMS- Studie wurden drei Tests ausgewählt, die im folgenden näher beschrieben werden. Dabei war der frühe Zeitpunkt (6. postoperative Woche - Beginn der vollen Belastbarkeit des Kniegelenks) zu berücksichtigen. Ein weiterer Gesichtspunkt auf der Suche nach geeigneten Tests ergab sich aus der Fragestellung der Studie. Da über das Fastex - System kaum Literatur vorliegt, wurde auf die Erfahrungen der Therapeuten und die Ergebnisse einer Studie im Rahmen einer Diplomarbeit zurückgegriffen [156]. Es wurden drei Tests ausgewählt, die im Einzelnen beschrieben werden.

Quick feet - Schneller Wechsel:

Dieser Test eignet sich besonders, um den seitengleichen Einsatz beider Extremitäten zu untersuchen.

Der Patient hat die Aufgabe, auf zwei nebeneinanderliegenden Platten gleichmäßige Auf- und Abbewegungen durch Beinhub (wechselseitiges Beugen und Anheben der Beine) zu vollführen. Die Knie sollen dabei ca. 30° gebeugt, die Arme

auf dem Rücken verschränkt werden. Das Bewegungstempo legt der Patient selbst fest, als Richtwert wird zügiges Gehen vorgegeben. Registriert werden 30 Wiederholungen je Richtung, dabei hat der Proband die Aufgabe, jedes Bein möglichst *gleichmäßig* zu belasten. Testanfang und -ende steuert der Computer über ein akustisches Signal. Als Messwerte werden Ground time (GT= Zeitabschnitt zwischen erstem Kontakt und dem Verlassen der Platte) und Transit time (TT= Bewegungsgeschwindigkeit: Zeitabschnitt zwischen dem Verlassen der Platte und dem nächsten Kontakt) erfasst. Für die Auswertung wird der Seitenunterschied beider Messwerte³⁶ in Prozent berechnet. Als Normwert gilt Seitengleichheit, dh. ein Seitenunterschied von weniger als 10 %.



Abbildung 11: Quick feet – Test

Gait Step - Ganganalyse:

Dieser Test wurde ausgewählt, da die Auswirkungen einer geänderten neuromuskulären Koordinationsleistung auch in Gangbildassymetrien erkennbar sind, wie Schmalz und Mitarbeiter 1998 in zwei Studien noch 1 Jahr nach Kreuzbandverletzung und -operation feststellten [165, 166].

Der Patient geht in zügigem Schrittempo nach dem akustischen Startsignal des Computers im Wechselschritt mit dem Testbein beginnend über 4 Kontaktplatten. Die Hände sind auf dem Rücken verschränkt. Testaufgabe ist ein möglichst

³⁶ $(\text{verletzt} - \text{unverletzt}) \times 100\% / \text{unverletzt}$

gleichmäßiges Gangbild. Die Übung wird je Seite 6 mal durchgeführt, begonnen wird mit dem unverletzten Bein. Registriert werden Average ground time (durchschnittliche GT) und Average transit time (durchschnittliche TT), berechnet wird analog zum oben genannten Test die Seitendifferenz in Prozent.



Abbildung 12: Gait Step - Test

Stabilisation Step Test - Stabilitätstest aus der Bewegung:

Die von diesem Test erfassbaren Fähigkeiten stellen eine Basis für die Bewältigung von Alltagsanforderungen (Treppabsteigen) dar. Der Test wurde vor allem deshalb ausgewählt, weil das Testergebnis in hohem Maße von der muskulären Situation des Quadrizeps beeinflusst wird. Nach der Dominanz der Aussage handelt es sich um einen Koordinationstest. Erfasst wird der dynamisch Aspekt der Gleichgewichtsfähigkeit in Abhängigkeit von der Bremsarbeit des kontralateralen Beines.

Der Patient steht mit beiden Beinen auf einer ca. 13 cm hohen Stufe. Die Hände sind auf dem Rücken verschränkt. Nach dem Startsignal steigt der Patient mit dem Testbein auf eine Kontaktplatte ab und stabilisiert so schnell wie möglich. Ausgleichsbewegungen dürfen nur mit dem Testbein unternommen werden. Ein Signalton zeigt das Testende an. Maßgebend für das Messergebnis ist die Zeitspanne zwischen erstem Plattenkontakt und dem Erreichen eines voreingestellten Stabilitätsindexes, diese sollte so gering wie möglich sein. Je Seite

werden 6 Wiederholungen durchgeführt. Zuerst wird das verletzte Bein getestet, da die Ausführung dieser Übung für das gesunde Bein als Testbein erfahrungsgemäß schwieriger ist (Das verletzte Bein muss Bremsarbeit leisten.). Als Messwert wird die Average Stabilisation time (AST= durchschnittlicher Zeitabschnitt zwischen Plattenkontakt und stabilem Stand) als Seitenvergleich ausgegeben.



Abbildung 13: Stabilisation Step - Test

Vor jeder Testserie erfolgte eine entsprechende Instruktion des Patienten hinsichtlich der Testaufgabe, Ausgangsstellung und auszuführender Bewegung. Jeder Test wurde vom Versuchsleiter separat demonstriert und erläutert. Anschließend hatte der Patient einige Probeversuche. Während der Messung wurde der Proband beobachtet; unkorrekte Tests wurden nicht gewertet und sofort wiederholt.

4.3.4. Oberschenkelumfangbestimmung

Die Bestimmung des Oberschenkelumfangs ist eine zwar ungenaue, jedoch allgemein übliche Methode zur Quantifizierung der Muskelatrophie bzw. -hypertrophie [27, 148]. Wie in Kap. 3.3.5. Objektivierungsmöglichkeiten der EMS bereits erläutert, existieren durchaus genauere Verfahren, jedoch sind diese mit einem weitaus größeren zeitlichen, technischen und personellen Aufwand verbunden. Deshalb wählten wir das Verfahren der Umfangsmessung zur Ermittlung der EMS- Effekte auf die Muskelmasse. Mittels Maßband wurde der Oberschenkelumfang jeweils 10 und 20

cm oberhalb des medialen Kniegelenkspalts präoperativ und in der 2., 6. und 12. postoperativen Woche bestimmt und die Absolutwerte für jedes Bein in cm notiert. Dazu saß der Patient mit gestreckten Beinen und entspannter Muskulatur auf einer Untersuchungsliege.

4.3.5. Lachmann - Test

Beim Lachmann - Test handelt es sich um eine schmerzfreie Untersuchung frischer und chronischer Knieverletzungen. Sie wurde von Prof. John W. Lachmann entwickelt und von TORG et al. 1976 erstmals beschrieben. Geprüft wird die vordere Instabilität. Dabei wird am liegenden Patienten bei 20° gebeugtem Kniegelenk Femur und Tibia kniegelenknah umfasst und gegeneinander im Schubladensinn bewegt. Translationsbewegungen ab 3 mm werden als positiv bewertet, dabei kann mit großer Sicherheit von einer vorderen Kreuzbandruptur ausgegangen werden [104, 118].



Abbildung 14: Lachmann - Test³⁷

Auf die instrumentelle Messung der vorderen Schublade (Z. B. mit einem KT 1000 Arthrometer) wurde in dieser Studie verzichtet. Zum einen ist die Diskussion über die wahre Leistungsfähigkeit dieser Geräte noch nicht abgeschlossen [20, 69]. Zum anderen lag der Schwerpunkt dieser Studie nicht auf dem Operationsergebnis selbst, sondern auf der Bedeutung der Elektromyostimulation.

Die Prüfung der vorderen Instabilität erfolgte präoperativ und ca. 8 - 9 Monate postoperativ mit einem Rolimeter der Firma AIRCAST. Notiert wurde (-) für einen negativen Test und (+, ++ bzw. +++) für einen Ausschlag von 5, 10 bzw. 15 mm. Ebenfalls berücksichtigt wurde das Anschlagsphänomen. Da der Lachmann - Test von einem erfahrenen Untersucher durchgeführt wurde, sahen wir diese Methode als ausreichend genau für die Ergebnisauswertung an.

³⁷ Entnommen aus [144] S. 460.

4.3.6. Bewegungsumfang

Eine häufige Folge von Kreuzbandoperationen ist eine Minderung der Beweglichkeit des Kniegelenks. Deshalb wurde 9 Monate postoperativ das Bewegungsausmaß nach der Neutral - Null - Methode ermittelt.

4.3.7. Lysholm - Score

Die Beurteilung von Behandlungsverfahren bei Kniebandinstabilitäten durch numerische Scores ist weit verbreitet [2, 25, 36, 54, 62, 120]. Es existieren eine Vielzahl solcher Bewertungssysteme mit unterschiedlicher Gewichtung objektiver und subjektiver Kriterien [Zusammenstellung bei 153]. Der im Jahre 1982 entwickelte Lysholm - Score bietet als fast rein subjektiver Score die Möglichkeit, das Behandlungsergebnis untersucherunabhängig zu erfassen [126]. Wir verwendeten die deutsche Fassung nach Wülker [209]:

Der Lysholm - Score zur subjektiven Bewertung der Kniefunktion		
Hinken	Kein Hinken	5
	Gelegentlich oder leicht	3
	Schwer und ständig	0
Gehhilfen	Keine	5
	Stock oder Stütze	2
	Keine Belastung möglich	0
Oberschenkelatrophie	Keine Atrophie	5
	1-2 cm	3
	>2cm	0
Instabilität	Keine Instabilität	30
	Selten (bei Sport oder schwerer Anstrengung)	25
	Häufig beim Sport oder bei schwerer Anstrengung (oder sportunfähig)	20
	Gelegentlich bei alltäglicher Belastung	10
	Häufig bei alltäglicher Belastung	5
	Bei jedem Schritt	0
Schmerzen	Keine	30
	Gelegentlich und leicht bei schwerer Anstrengung	25
	Stark bei Subluxation	20
	Stark bei schwerer Anstrengung	15
	Stark bei oder nach 2 km Gehen	10
	Stark bei oder nach weniger als 2 km Gehen	5
	Ständig	0

Schwellung	Keine	10
	Bei Subluxation	7
	Bei schwerer Anstrengung	5
	Bei normaler Anstrengung	2
	Ständig	0
Treppensteigen	Problemlos	10
	Leicht behindert	6
	Nur einzelne Stufen	2
	Unmöglich	0
Hocken	Problemlos	5
	Leicht behindert	4
	Nicht über 90°	2
	Unmöglich	0

Tabelle 9: Lysholm - Score³⁸

Der Score besteht aus 8 Fragen zu Stabilität, Schmerzen, Schwellung und Alltagsfunktionen, die mit maximal 100 Punkten bewertet werden. Dabei sind 7 Fragen vom Patienten selbst zu beantworten, lediglich die Angaben zur Oberschenkelatrophie werden vom Untersucher anhand der ermittelten Messwerte ergänzt. Auf Grundlage der Vorgaben von Wülker erarbeiteten wir einen leicht verständlichen Fragebogen³⁹, den die Patienten am Operationstag, ca. 6 Wochen danach im Wartezimmer und ca. 1,5 Jahre postoperativ zu Hause selbstständig ausfüllten.

4.3.8. Tegner - Score

Ein für den Patienten wesentliches Beurteilungskriterium für den Behandlungserfolg stellt das Aktivitätsniveau dar [76, 134, 192]. Tegner entwickelte 1985 eine Bewertungsskala für die sportliche und berufliche Aktivität [182]. Wir verwendeten die auf deutsche Verhältnisse angepasste Skala von Wülker:

Der auf deutsche Verhältnisse übertragene Aktivitäts - Score:		
10	Nationale und internationale Turniere:	Fußball, Hallen - Ballsport mit Gegnerkontakt (Handball, Basketball)
9	Nationale oder internationale Turniere:	Hallen - Ballsport ohne Gegnerkontakt (Squash, Badminton), Eishockey, Abfahrtslauf

³⁸ Entnommen aus [209] S. 131.

³⁹ Siehe Anhang 2: Fragebogen für Patienten.

	Regionale Turniere:	Fußball, Hallen - Ballsport mit Gegnerkontakt (Handball, Basketball)
8	Turniersport:	Hallen - Ballsport ohne Gegnerkontakt (Squash, Badminton), Eishockey, Abfahrtslauf
7	Turniersport:	Tennis, Ringen, Turnen, Leichtathletik
	Freizeitsport:	Fußball, Hallen - Ballsport, Querfeldeinlauf, Abfahrtslauf
6	Freizeitsport:	Tennis, Leichtathletik, Turnen, Jogging mindestens fünfmal wöchentlich
5	Arbeit:	Schwere körperliche Arbeit (Bauarbeit, Waldarbeit)
	Turniersport:	Radfahren, Langlauf, Rudern
	Freizeitsport:	Jogging auf unebenen Boden zweimal wöchentlich
4	Arbeit:	Mittelschwere körperliche Arbeit (Lastwagenfahren, Bodenreinigung)
	Freizeitsport:	Radfahren, Langlauf, Joggen auf ebenem Boden zweimal wöchentlich
3	Arbeit:	Leichte körperliche Arbeit (Verkäufer)
	Turnier- und Freizeitsport:	Schwimmen, Waldspaziergänge
2	Arbeit:	Überwiegend stehende, körperliche Arbeit
		Gehen auf unebenem Boden
1	Arbeit:	Sitzende Tätigkeit
		Gehen auf ebenem Boden
0	Arbeit:	Wegen Kniebeschwerden arbeitsunfähig oder berentet

Tabelle 10: Aktivitäts - Score nach Tegner⁴⁰

Die sportliche und berufliche Aktivität wird in 10 Stufen eingeteilt, vom Profi- Fußballspieler bis zum sitzend arbeitenden, sportlich inaktiven Patienten. Im Fragebogen nicht aufgeführte Sportarten wurden vom Testleiter zugeordnet (z. B. Motocross => Reiten u.a.). Die maximal erreichbare Punktzahl beträgt 10. Mittels des Tegner - Scores ist es möglich, den Rehabilitationsverlauf des Kniegelenks durch ein Ansteigen der allgemeinen körperlichen Aktivität zu verfolgen. Wir erarbeiteten einen Fragebogen, den die Patienten am Operationstag selbst ausfüllten und ermittelten so das Aktivitätsniveau vor der Verletzung (retrospektiv) und vor der Operation. In der 6. postoperativen Woche wurde das Aktivitätsniveau nicht erfasst, da alle Patienten sich zu diesem Zeitpunkt noch in der AHB (Anschlussheilbehandlung) befanden. Abschließend wurde der Tegner - Score mittels Fragebogen (brieflich) durchschnittlich 1,5 Jahre postoperativ ermittelt.

⁴⁰ Entnommen aus: [209] S. 131.

4.3.9. Fragebogenaktion

Ein Jahr nach Beendigung der EMS- Studie wurde an alle Patienten ein Fragebogen mit Rückumschlag versandt.⁴¹ Dieser enthielt den Lysholm - und den Tegner - Score (bereits bekannt). Hinzugefügt wurden Fragen zum Behandlungsergebnis, die im folgenden leicht gekürzt aufgeführt sind. Durch Ankreuzen war die zutreffende Antwort zu markieren.

- Wie zufrieden sind Sie mit dem Behandlungsergebnis ?
- *sehr zufrieden, zufrieden, nicht zufrieden, sehr unzufrieden*
- Welcher der folgenden Punkte beeinflusst am meisten diese Entscheidung ?
- *Beweglichkeit, Kraft, Stabilität, Schmerzen/Schwellung*
- Wie zufrieden sind Sie mit der Nachbehandlung im Rehasentrum am Kreuz Erfurt ?
- *sehr zufrieden, zufrieden, nicht zufrieden, sehr unzufrieden*
- Wie oft musste Ihr Knie nach der Kreuzbandplastik wegen Erguss punktiert werden ?
- *kann mich nicht erinnern, nicht, 1-2 mal, 3-5 mal, ca. 10 mal*
- Wie viel Wochen nach der Operation konnten Sie die Arbeit wieder aufnehmen?
- Wie wichtig ist der Zustand des Kniegelenks für Ihre berufliche Tätigkeit ?
- *sehr wichtig, nicht so wichtig*
- Bitte schätzen Sie selbst ein:
 - Die Kraft meiner Oberschenkelmuskulatur ist:
- *sehr gut, leichte Defizite, schlecht - im Vergleich zur Gegenseite*
 - Die Beweglichkeit des operierten Kniegelenks ist:
- *sehr gut, leichte bzw. starke Einschränkung der Beugung / Streckung*

Die Patienten der EMS-Gruppe erhielten zusätzlich 4 Fragen zur EMS- Behandlung:

- Wie wichtig für den Erhalt der Muskelkraft ist Ihrer Meinung nach die Elektrostimulation der Muskulatur in den ersten Wochen nach Operation ?
- *sehr wichtig, wichtig, nicht so wichtig, überflüssig*
- Wie empfanden sie diese Behandlung ?
- *angenehm, tolerabel, unangenehm, schmerzhaft*
- Wie oft und wie lange führten sie selbst die elektrische Muskelstimulation durch ?

⁴¹ Siehe Anhang 3: Fragebogenaktion per Post.

- 1x, 2x, 3x täglich, jeden 2./3. Tag, ab und zu; pro Sitzung etwa 5, 10, 15, 30 min

- Sollten Sie die Elektrostimulationsbehandlung nicht so oft wie empfohlen durchgeführt haben, was waren die wichtigsten Gründe dafür?
- *umständlich/kompliziert, zeitaufwendig, unangenehm/schmerzhaft, unsicher im Umgang, andere Gründe*

4.3.10. Sonstige Daten

Für die Auswertung der Studie wurden noch folgende Daten erfasst:

- Alter und Geschlecht der Patienten
- Verletzungszeitpunkt
- Verletzungsursache
- Operationszeitpunkt
- Begleitverletzungen (Meniskusläsionen, Knorpelschäden, Seitenbandläsionen)
- Komplikationen.

Von der Studie ausgeschlossen wurden Patienten mit schwereren Begleitverletzungen sowie Patienten, die das Rehabilitationsprogramm nicht ordnungsgemäß durchführten.

4.4. Statistik

Alle Patientendaten und Mess- bzw. Testergebnisse wurden mit dem Programm: SPSS 7.5 für Windows gespeichert und bearbeitet. Als Signifikanztest kam der T-Test für unabhängige und für gepaarte Stichproben, der Welch- Test (wenn keine Varianzgleichheit vorlag) sowie der U-Test nach Mann und Whitney (wenn keine Normalverteilung vorlag) zur Anwendung. Für Gruppenvergleiche wurde das arithmetische Mittel oder der Median (Punkte- Scores) berechnet. Für Korrelationsanalysen wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson oder Spearman (Punkte - Scores) verwendet. Die Messergebnisse wurden auf Normalverteilung mit Hilfe des Kolmogorov- Smirnov- Tests überprüft.

5. Ergebnisse

5.1. EMS - Behandlung

Es erhielten 44 Patienten ein EMS- Gerät zur Heimbehandlung. Die Auswertung der Nutzungsdauer, welche bei Rückgabe des Gerätes von der Sprechstundenschwester notiert wurde, ergab eine durchschnittliche Stimulationszeit von 14,5 Stunden (Soll: 42 Stunden). 68 % der Patienten wendeten das Gerät weniger als die Hälfte

der vorgeschriebenen Zeit (<20h) an. Die folgende Grafik veranschaulicht diesen Sachverhalt genauer.

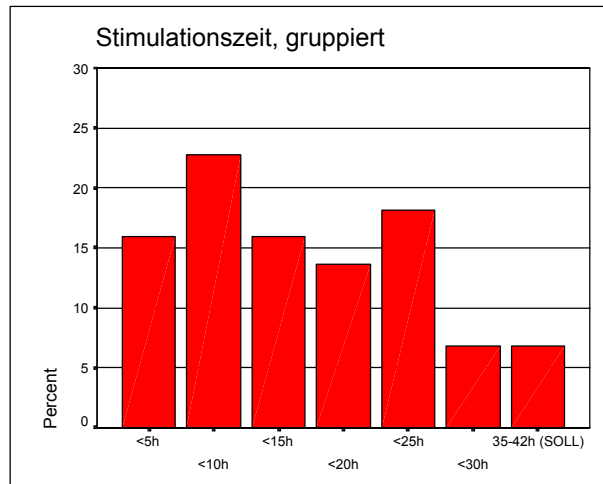


Abbildung 15: Stimulationszeit, gruppiert

Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Dauer der Stimulationszeit und dem Geschlecht sowie dem Aktivitätsniveau (Tegner - Score vor der Verletzung) der Patienten.

5.2. Cybex - Test

Die Messwerte des Cybex - Tests sind normalverteilt. Die folgenden Grafiken stellen die Ergebnisse der Cybex - Tests als Verlauf der maximalen Drehmomente (DMM)⁴² dar. Ausschlaggebend für die Fragestellung der Studie ist das DMM der Extensoren in der 12. Woche. Der Abschlusstest im 9. Monat wird zur Dokumentation des Behandlungsergebnisses mit gezeigt.

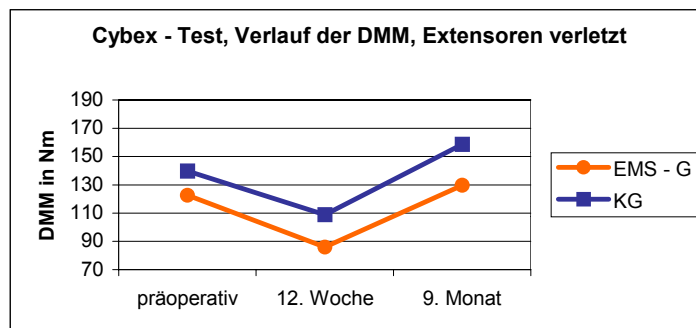


Abbildung 16: Cybex - Test, DMM Extensoren, verletzt

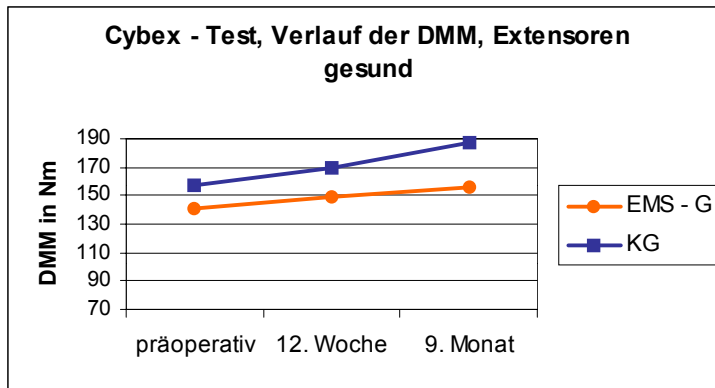


Abbildung 17: Cybex - Test, DMM Extensoren, gesund

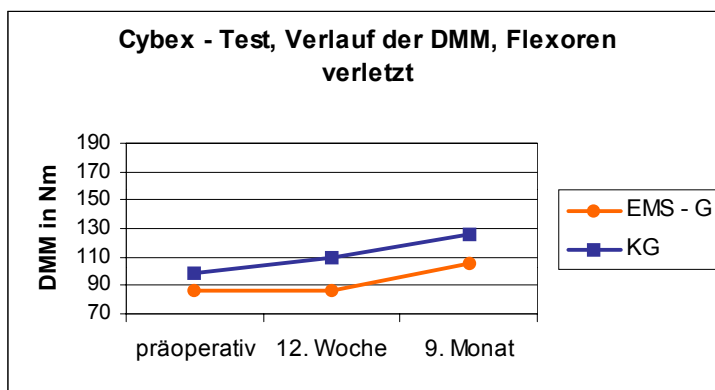


Abbildung 18: Cybex - Test, DMM Flexoren, verletzt

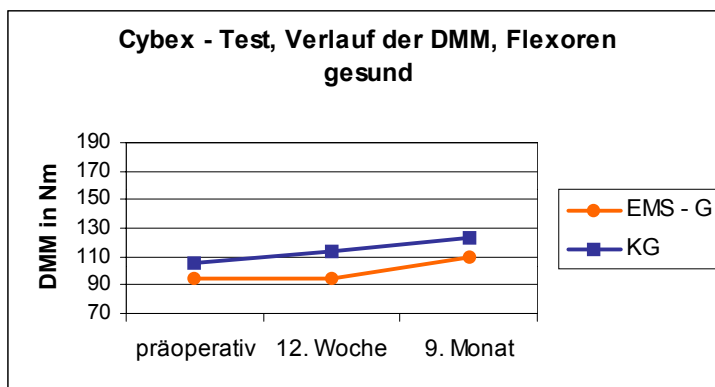


Abbildung 19: Cybex - Test, DMM Flexoren, gesund

Zu allen Zeitpunkten liegt das durchschnittliche DMM der EMS-G deutlich unter dem der KG. Dieser Unterschied ist signifikant.⁴³ Deshalb wurde zur Objektivierung der

⁴² Siehe Kapitel 4.3.2. Cybex - Test.

⁴³ Siehe Anhang 6: Cybex - Test, Messwerte.

EMS- Effekte im Gruppenvergleich die prozentuale Änderung der DMM im Vergleich zu präoperativ (100%) berechnet und dargestellt.

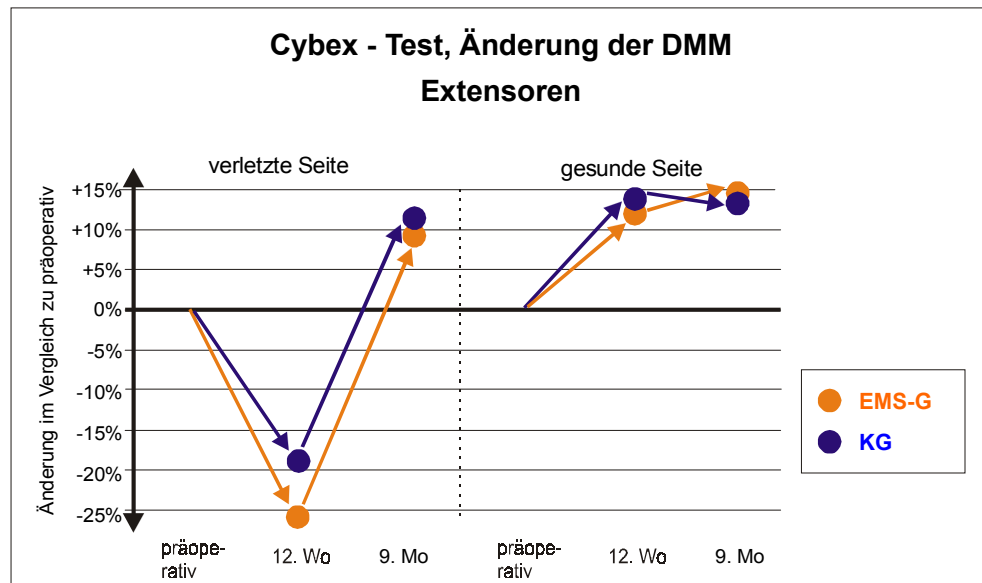


Abbildung 20: Cybex - Test, Änderung der DMM zu präoperativ, Extensoren

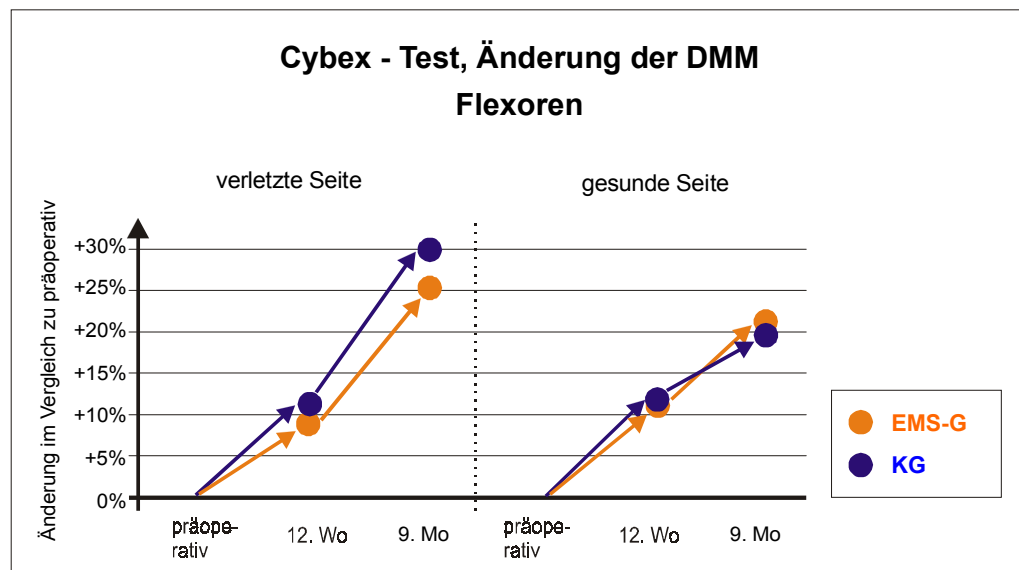


Abbildung 21: Cybex - Test, Änderung der DMM zu präoperativ, Flexoren⁴⁴

Zwischen EMS-G und KG bestehen keine *signifikanten* Unterschiede hinsichtlich der Zu- bzw. Abnahme der DMM, obwohl die KG etwas bessere Resultate aufweist. Die Extensoren des verletzten Beins zeigen eine deutliche Abnahme bis zur 12. Woche, nach 9 Monaten ist das präoperative Kraftniveau um 10% überschritten. Die Extensoren des gesunden Beins, ebenso die Flexoren, nehmen im Rehabilitations-

⁴⁴ Siehe Anhang 6: Cybex - Test, Messwerte.

verlauf deutlich an Kraft zu. Auffallend ist die starke Kraftzunahme der Flexoren des verletzten Beins bis zum 9. Monat.

Ein allgemein übliches Beurteilungskriterium der Kraftverhältnisse in Literatur und Praxis ist die bestehende Seitendifferenz der DMM zwischen gesundem und verletztem Bein, berechnet nach:

$$\text{Seitendifferenz in \%} = (\text{DMM verletzt} - \text{DMM gesund}) \times 100\% / \text{DMM gesund}$$

Tabellen und Grafiken dazu finden sich im Anhang Seite 107 f. Hier besteht ein geringfügiger Gruppenunterschied zugunsten der KG, der jedoch zu keinem Testzeitpunkt signifikant ist. Erwartungsgemäß ist die Kraftdifferenz der Extensoren zwischen gesunder und verletzter Seite in der 12. Woche am deutlichsten (39%) und sinkt bis zum 9. Monat auf 15%.

Ein weiteres Beurteilungskriterium der muskulären Situation ist das Kraftverhältnis zwischen Flexoren und Extensoren (=H/Q - Quotient, Norm: 60-70%)⁴⁵. Auch hier bestehen keine signifikanten Gruppenunterschiede, deshalb erfolgt die Darstellung nicht getrennt.

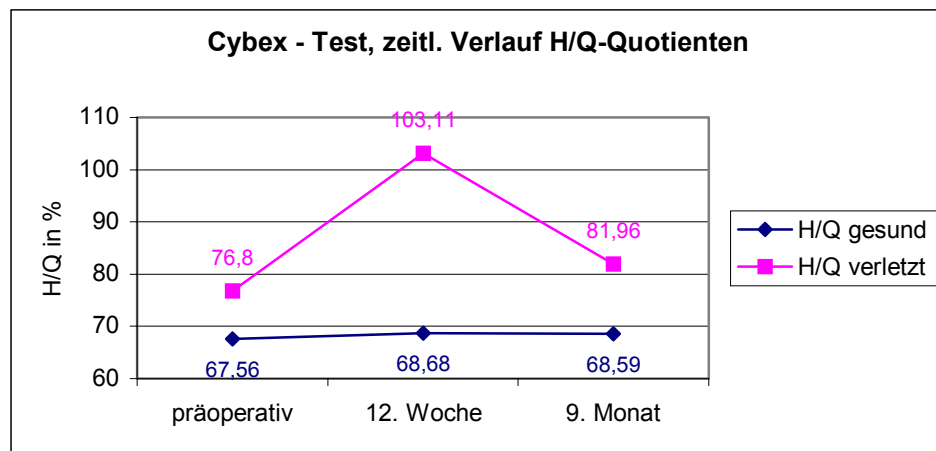


Abbildung 22: Cybex - Test, zeitlicher Verlauf H/Q-Quotienten⁴⁶

Die H/Q-Quotienten der gesunden Seite bleiben im Verlauf annähernd gleich (68%). Das Flexoren/Extensoren - Verhältnis der verletzten Seite ist bereits präoperativ gegenüber der gesunden Seite um etwa 9% erhöht, steigt bis zur 12. Woche auf ca. 100% und fällt bis zum 9. postoperativen Monat auf ca. 80%.

⁴⁵ Siehe dazu Kapitel 4.3.2. Cybex - Test.

⁴⁶ Siehe Anhang 6: Cybex - Test, Messwerte.

Zwischen männlichen und weiblichen Patienten bestehen zu allen Testzeitpunkten hochsignifikante Unterschiede bezüglich der DMM zugunsten der Männer. Die Änderungen der DMM im Zeitverlauf und die H/Q- Quotienten sind jedoch annähernd gleich, deshalb erfolgte die Auswertung nicht getrennt nach Geschlecht.⁴⁷

5.3. Oberschenkelumfang

Die Messwerte der OSU- Bestimmung sind normalverteilt.

Zwischen EMS-Gruppe und Kontrollgruppe finden sich zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede bezüglich der *Mittelwerte* der Oberschenkelumfänge und der *Seitendifferenzen*. Deshalb sind die Mittelwerte der OSU an den Messpunkten 10 cm bzw. 20 cm oberhalb des medialen Kniegelenkspalts im Zeitverlauf für *alle* Patienten in der folgenden Grafik dargestellt.⁴⁸

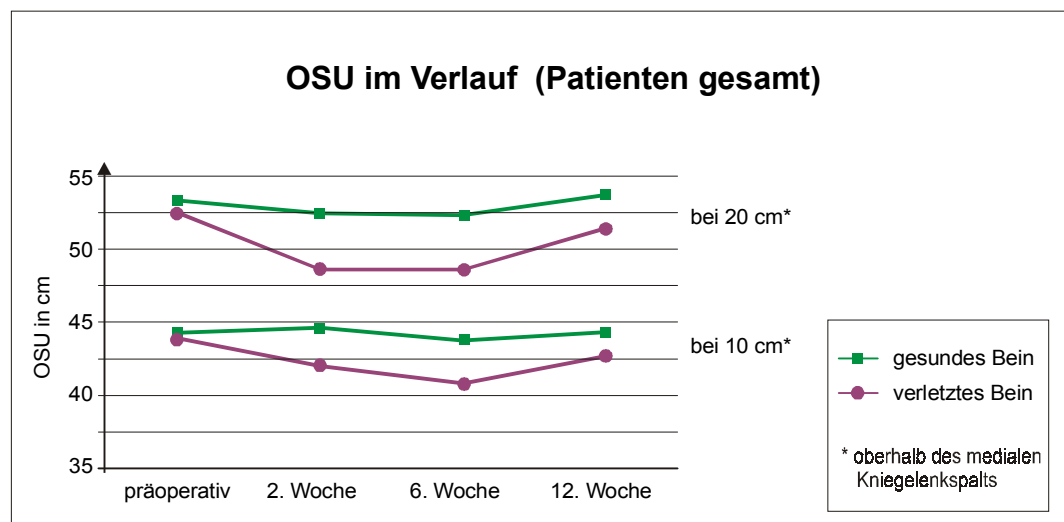


Abbildung 23: OSU

Die Seitendifferenz ist in der 6. Woche am größten (3,2cm bei Messpunkt 10 und 3,5cm bei Messpunkt 20), nach 12 Wochen bestehen noch durchschnittlich 1,7 bzw. 2,3cm OSU - Differenz.

Zwischen männlichen und weiblichen Patienten finden sich zu keinem Zeitpunkt signifikante OSU - Unterschiede.

⁴⁷ Siehe Anhang 6: Cybex - Test, Messwerte.

⁴⁸ Siehe ebenda.

Im folgenden sind, analog zur Auswertung des Cybex - Tests, die *Änderungen* des Oberschenkelumfangs im Vergleich zum präoperativen Messwert im Gruppenvergleich graphisch dargestellt. Auf Grund der geringen Fallzahlen⁴⁹ sind die Messwerte der 6. Woche unter Vorbehalt zu betrachten, sie wurden der Vollständigkeit halber jedoch mit ausgewertet.

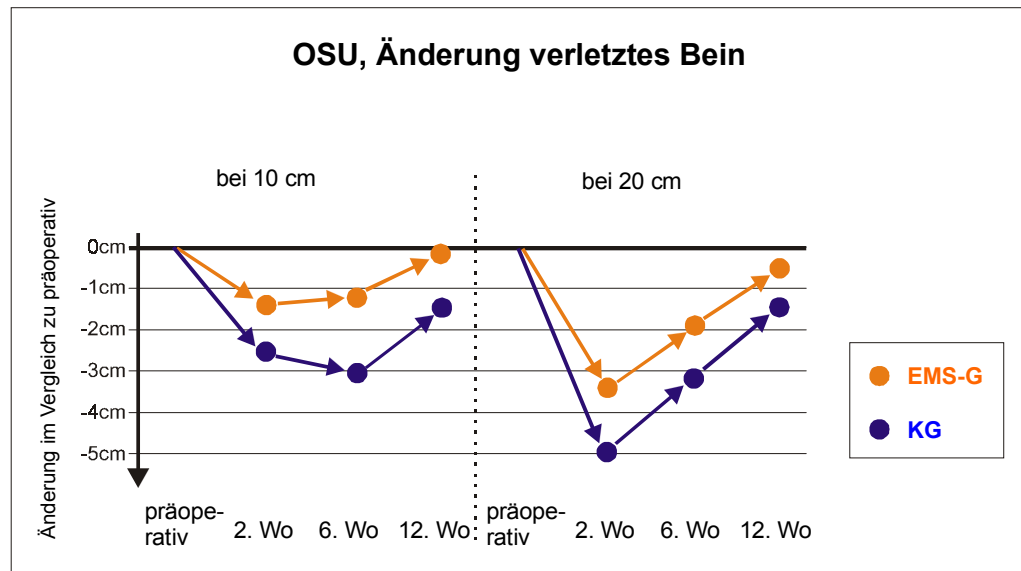


Abbildung 24: Änderung des OSU, verletztes Bein⁵⁰

Im Gruppenvergleich zeigen sich Unterschiede zugunsten der EMS-Gruppe, die jedoch nur in der 12. Woche bei 10cm signifikant sind. Die Umfangsreduzierung des verletzten Beins ist in der EMS-G tendenziell geringer ausgeprägt als in der KG.

5.4. Fastex

Gait Step Test:

Die Messwerte des Gait Step Tests (AGT, ATT) sind nicht normalverteilt.

Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen EMS-G und KG bezüglich der Messwerte AGT und ATT.⁵¹ Im Durchschnitt aller Patienten weisen die Werte unter 1% Seitenunterschied auf, es liegt jedoch eine hohe Streuung vor.

⁴⁹ Siehe Anhang 7: Oberschenkelumfang - Messwerte.

⁵⁰ Siehe ebenda.

⁵¹ Zu den Messwerten siehe Kapitel 4.3.3. Fastex.

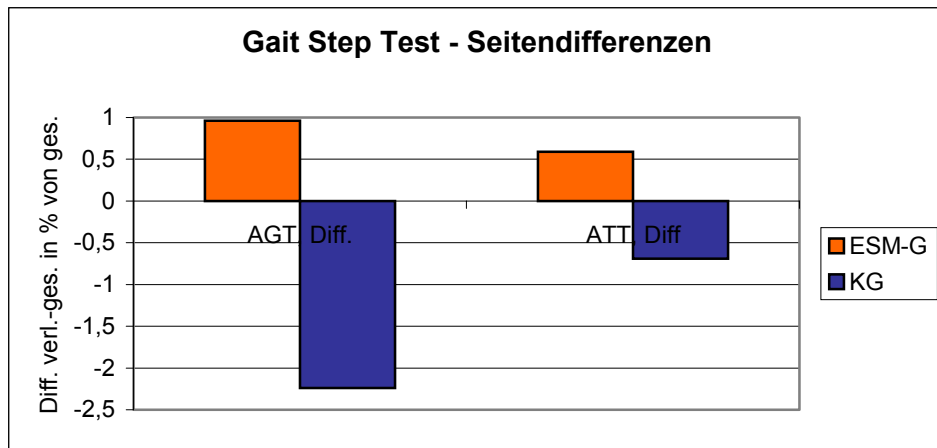


Abbildung 25: Fastex, Gait Step Test⁵²

Die Seitendifferenzen der Messwerte in % sind in der EMS-G etwas geringer als in der KG, diese Unterschiede sind jedoch nicht signifikant und auf Grund der sich überlappenden Standardabweichungen⁵³ kritisch zu bewerten.

Stabilisation Step Test:

Die Messwerte ST sind normalverteilt.⁵⁴

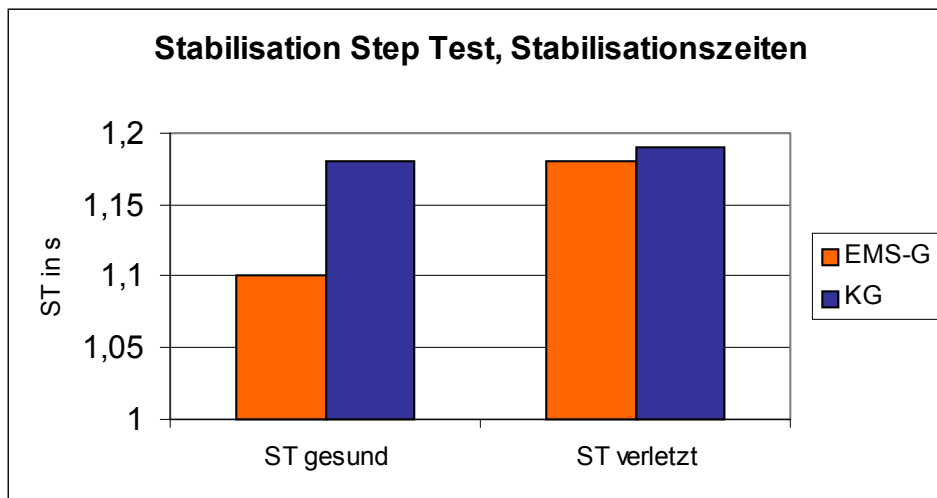


Abbildung 26: Fastex, Stabilisation Step Test⁵⁵

⁵² Siehe Anhang 8: Fastex - Test, Messwerte.

⁵³ Siehe ebenda.

⁵⁴ Zu den Messwerten siehe Kapitel 4.3.3. Fastex.

⁵⁵ Siehe Anhang 8: Fastex - Test. Messwerte.

Die Stabilisationszeiten unterscheiden sich nicht signifikant zwischen den Gruppen, wobei die ST (vor allem des gesunden Beins) der EMS-G etwas kleiner ist als die der KG.

Quick Feet:

Die Messwerte AGT und ATS sind bis auf eine Ausnahme (ATS gesunde Seite) normalverteilt.

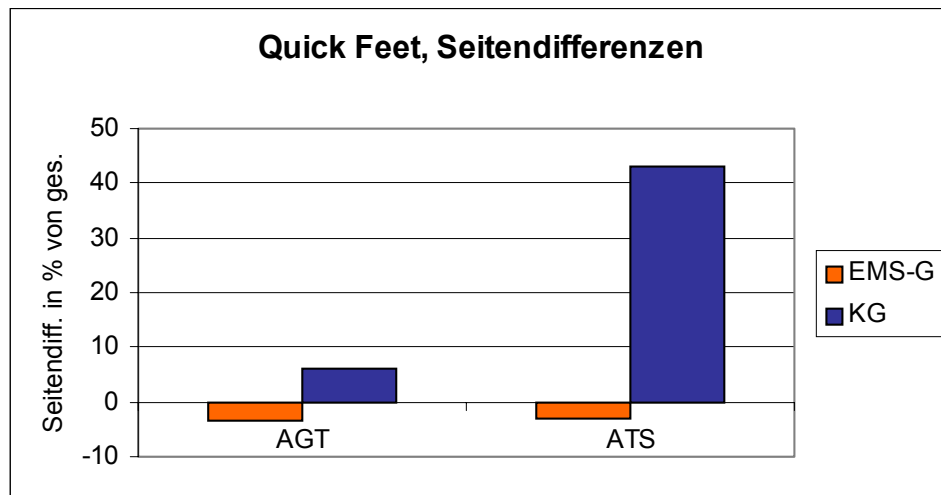


Abbildung 27: Fastex, Quick Feet Test⁵⁶

Die Seitendifferenz der AGT unterscheidet sich nicht zwischen den Gruppen. Die Seitendifferenz der ATS ist in der KG signifikant größer als in der EMS-G, wegen der sich überschneidenden Standardabweichungen⁵⁷ jedoch kritisch zu bewerten.

5.5. Lachmann - Test

Die Ergebnisse des Lachmann - Tests präoperativ und postoperativ (ca. 9. postoperativer Monat) sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

⁵⁶ Siehe Anhang 8: Fastex - Test. Messwerte.

⁵⁷ Siehe ebenda.

Lachmann	+++	++	+	+ mit Anschlag	negativ
präoperativ (N = 91)	12	52	27		
postoperativ (N = 73 ⁵⁸)			8 11 %	6 8 %	59 81 %

Tabelle 11: Lachmann - Test

Es finden sich keine signifikanten Gruppenunterschiede.

5.6. Bewegungsumfang

Hinsichtlich des postoperativen Bewegungsumfanges (9. Monat) liegen keine Unterschiede zwischen EMS-G und KG vor. Deshalb erfolgt die Auswertung in der Grundgesamtheit (n = 92), siehe folgende Tabelle:

Bewegungsumfang nach Neutral- Null- Methode			
Extension	n = 92	Flexion	n = 92
0	61	>=130	55
-5	25	120/125	23
-10	6	110/115	11
		100	3

Tabelle 12: Bewegungsumfang

5.7. Lysholm - Score

Die durchschnittliche Punktzahlen im Lysholm - Score im Gruppenvergleich und die Änderungen im Vergleich zu präoperativ (in Klammern) sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

⁵⁸ Die fehlenden Patienten sind zum Abschlusstest im 9. Monat nicht erschienen. Es handelt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um Patienten, die keine Knieprobleme mehr hatten.

Lysholm - Score (Median)	präoperativ (N = 63)	6. Woche (N = 54)	17. Monat (N = 55) Fragebogenaktion
EMS-G	67,0	65,0 (- 2,0)	88,0 (+21,0)
KG	68,0	69,0 (+ 1,0)	86,5 (+ 18,5)
Total	67,0	68,0 (+ 1)	87,0 (+ 20,0)

Tabelle 13: Lysholm - Score

Zwischen EMS-G und KG finden sich keine signifikanten Unterschiede. Die folgenden Kreisdiagramme stellen die prozentuale Verteilung der Punkte, eingeteilt nach Zufriedenheitsgrad (sehr gut: 95-100, gut: 84-94, zufriedenstellend: 65-83, schlecht: <65 Punkte⁵⁹) dar.

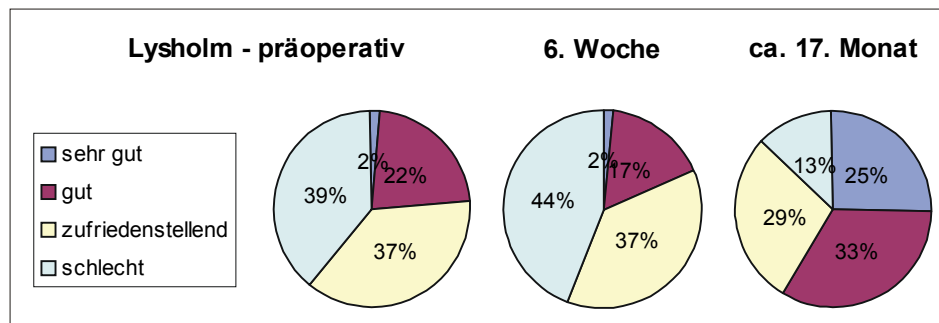


Abbildung 28: Lysholm - Score, prozentuale Verteilung

5.8. Tegner - Score

Das Aktivitätsniveau der Patienten entwickelte sich wie folgt (in Klammern: Differenz zum Zeitpunkt vor der Verletzung):

Tegner - Score (Median)	vor Verletzung	präoperativ	ca. 17. Monat Fragebogenaktion
EMS-G	8,0	3,5 (- 4,5)	7,0 (- 1,0)
KG	9,0	4,0 (- 5,0)	7,0 (- 2,0)
Total	8,5	4,0 (- 4,5)	7,0 (- 1,5)

Tabelle 14: Tegner - Score

⁵⁹ Einteilung nach [25] S. 13 ff.

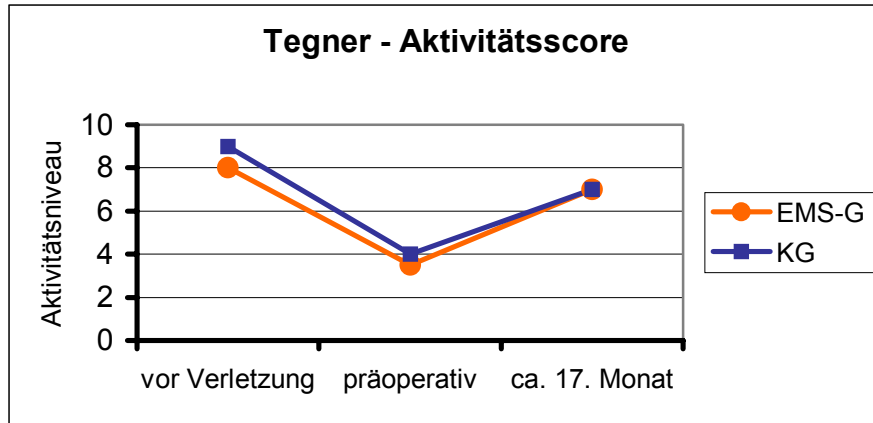


Abbildung 29: Tegner - Aktivitätsscore

Durch die Verletzung verringerte sich das Aktivitätsniveau der Patienten um durchschnittlich 4,5 Punkte. Ca. 1,5 Jahre nach der Operation konnten 58,6% der Patienten ihr ursprüngliches Aktivitätsniveau wieder aufnehmen oder sogar erhöhen (max. 5 Punkte), 21,7% verringerten ihr Aktivitätsniveau um 1-2 Punkte und 19,5% um 3-5 Punkte. Es finden sich keine signifikanten Gruppenunterschiede.

5.9. Fragebogenaktion

Von 92 versendeten Fragebögen wurden 55 zurückgeschickt, 2 Patienten waren unbekannt verzogen. Dies entspricht einem Rücklauf von 60%.

Die Fragen zum Lysholm - und Tegner - Score wurden bereits in den vorangegangenen Kapiteln mit berücksichtigt und sollen deshalb an dieser Stelle nicht mit ausgewertet werden. Allein die Fragen zu Schmerzen und Stabilität wurden gesondert erfasst und ausgewertet. Darauf soll später eingegangen werden. Im folgenden findet sich eine tabellarische Übersicht.

Frage	Antwortmöglichkeiten	Ergebnis
Wie zufrieden sind Sie mit dem Behandlungsergebnis ?	sehr zufrieden	21 (38%)
	zufrieden	27 (49%)
	nicht zufrieden	6 (11%)
	sehr unzufrieden	1

Welcher der folgenden Punkte beeinflusste am meisten diese Entscheidung? ⁶⁰ (Mehrfachnennung möglich)	Beweglichkeit	20 (36%)
	Kraft	13 (24%)
	Stabilität	10 (18%)
	Schmerzen, Schwellung	28 (51%)
Die Kraft meiner Oberschenkelmuskulatur ist:	sehr gut	24 (43%)
	noch leichte Defizite vorhanden	28 (51%)
	schlecht	3
Die Beweglichkeit des operierten Kniegelenks ist:	sehr gut	22 (40%)
	Beugung - leichte Einschränkung	30 (54%)
	Beugung - starke Einschränkung	3
	Streckung - leichte Einschränkung	14 (25%)
	Streckung - starke Einschränkung	1
Haben Sie ein Instabilitätsgefühl?	nein, nie	25 (45%)
	bei Sport oder schwerer Anstrengung	18 (33%)
	bei alltäglicher Belastung	12 (22%)
	bei jedem Schritt	-
Haben Sie Schmerzen ?	nein, nie	16 (29%)
	leichte (bei schwerer Anstrengung)	29 (53%)
	starke bei Belastung	9 (18%)
	ständig	1
Wie zufrieden sind Sie mit der Nachbehandlung im Reha-Zentrum am Kreuz Erfurt?	sehr zufrieden	42 (72%)
	zufrieden	13 (24%)
	nicht zufrieden	-
	sehr unzufrieden	-

Tabelle 15: Auswertung der Fragebogenaktion

Nach durchschnittlich 9,6 Wochen konnten die meisten Patienten die Arbeit wieder aufnehmen. Erwartungsgemäß war die Dauer der Arbeitsunfähigkeit abhängig von der Kniebelastung im Beruf (11,3 Wochen versus 7,6 Wochen). Zwei Patienten waren zum Zeitpunkt der Befragung arbeitsunfähig, beide benötigen eine gute Kniefunktion zur Ausübung ihrer Tätigkeit.

Von den Patienten der EMS-G (27) gaben 13 an, 1-2 mal punktiert worden zu sein. 14 Patienten der KG (28) hatten 1-2 mal und 4 sogar 3-5 mal einen punktionspflichtigen Kniegelenkserguss.

⁶⁰ Die Auswertung ergab, dass die Patienten, welche mit dem Ergebnis der Kreuzbandplastik sehr zufrieden bzw. zufrieden waren (48 Patienten), nach eigenen Angaben besonderen Wert auf gute Stabilität legten. Schmerzen

Ein Vergleich der mit EMS behandelten Patienten mit der KG ergab keine Unterschiede bezüglich der Beantwortung des Fragebogens. Sowohl die subjektive Zufriedenheit, als auch die Einschätzung von Kraft und Beweglichkeit und die Dauer der Arbeitsunfähigkeit waren in beiden Patientengruppen ähnlich.

Ein Vergleich der subjektiven Patientenangaben zur Beweglichkeit und Stabilität mit den in der Nachuntersuchung erhobenen objektiven Daten ergibt keine Übereinstimmung, lediglich die Angaben zur Kraft decken sich weitgehend mit den Ergebnissen des Cybex - Abschlusstests.

Die Auswertung des zusätzlichen Fragebogens zur EMS-Behandlung umfasst 25 Patienten:

Wie wichtig für den Erhalt der Muskelkraft ist Ihrer Meinung nach die EMS der Muskulatur in den ersten Wochen nach Operation ?	sehr wichtig	17
	wichtig	7
	nicht so wichtig	1
	völlig unwichtig/überflüssig	
Wie empfanden Sie diese Behandlung?	angenehmes Gefühl	13
	tolerabel	12
	unangenehmes Gefühl	
	schmerzhaft	
Wie oft führten Sie die EMS durch?	1x täglich	
	2x täglich	3
	3x täglich	22
	jeden 2. /3. Tag	
	ab und zu	
Wie lange dauerte eine „Sitzung“? ⁶¹	5 min	
	10 min	9
	15 min	9
	30 min	5
Sollten Sie die EMS-Behandlung nicht so oft wie empfohlen durchgeführt haben, was waren die wichtigsten Gründe dafür? ⁶²	zu umständlich/kompliziert	1
	zu zeitaufwändig	
	zu unangenehm/schmerzhaft	
	unsicher im Umgang mit dem Gerät	
	weiß nicht, wozu das gut sein soll	
andere Gründe		

Tabelle 16: Auswertung des EMS - Fragebogens

und Schwellung waren die häufigste Ursache für Unzufriedenheit, gefolgt von schlechter Beweglichkeit und Stabilität.

⁶¹ Die fehlenden Patienten machten keine Angaben.

⁶² Die fehlenden Patienten machten keine Angaben.

Ein Vergleich der Patientenangaben zur Stimulationszeit mit den an den zurückgegebenen Geräten abgelesenen tatsächlich durchgeführten Stimulationszeiten ergab nur selten eine Übereinstimmung.

6. Diskussion

Die positive Wirkung von Elektromyostimulation auf den Muskel ist im theoretischen Teil bereits beschrieben und anhand von Studien belegt worden. In der Ergebnisdiskussion sollen daher nur solche Studien erwähnt werden, die den Nutzen der EMS als *zusätzliche* Therapie- oder Trainingsmaßnahme untersuchen.

EMS - Behandlung:

Die Patienten dieser Studie führten, wie in der ambulanten Rehabilitation bisher üblich, die EMS als Heimbehandlung durch. Diese Tatsache hat eine mangelnde Kontrollmöglichkeit von Seiten des Therapeuten zur Folge und verlangt eine gute Compliance des Patienten. Die daraus resultierenden uneinheitlichen Stimulationszeiten wirken sich negativ auf das Studiendesign aus, müssen aber in Kauf genommen werden, da die Fragestellung der Studie sich auf den Einsatz genau dieser Behandlungsmethode bezog. Trotz intensiver Einweisung aller Patienten in die Handhabung des Gerätes und sowohl mündlicher als auch schriftlicher Aufklärung über Sinn und Zweck der EMS- Behandlung zeigte sich, dass ein Großteil der Patienten sich nicht an die vorgeschriebenen Stimulationszeiten hielt. Nur 32% der Patienten verwendete das Gerät wenigstens halb so lang wie empfohlen.⁶³ Über die Kontrollmöglichkeit waren die Patienten nicht informiert, eventuell hätte sich so eine bessere Compliance erzielen lassen. Ebenfalls als Heimbehandlung wurde die EMS in Studien von Ullmann [190], Franke et al. [50], Buhmann et al. [25] und Doench [35] eingesetzt. In allen Studien werden keine Aussagen zu Kontrollmöglichkeiten der Patientencompliance gemacht, es werden jedoch positive Auswirkungen der zusätzlichen Behandlung beschrieben. Bereits in einem Expertengespräch, welches im Auftrag des Hauptverbandes der Berufsgenossenschaften Anfang der neunziger Jahre stattfand, konnte keine Einigkeit darüber erzielt werden, ob der Einsatz der EMS als Heimbehandlung wirklich sinnvoll ist. Größter Kritikpunkt war auch hier die mangelnde Kontrollmöglichkeit von Seiten des Therapeuten [202].

⁶³ Es kann nur über die Anwendungsdauer insgesamt (summiert über alle Anwendungen) eine Aussage gemacht werden, nicht aber über Häufigkeit und Dauer der Einzelbehandlungen. Dazu wurde ein Fragebogen erarbeitet.

Die Parameter der EMS- Behandlung wurden bereits im theoretischen Teil besprochen. Hier soll nur auf einige ausgewählte Punkte eingegangen werden.

Stimulationsfrequenz: Die Stimulationsfrequenz von 50 Hz ist allgemein üblich und in den herkömmlichen Geräten zur Heimbehandlung voreingestellt. Die Wirksamkeit der niederfrequenten Stimulation ist anhand zahlreicher Studien belegt.⁶⁴ Aber auch mittelfrequente EMS zeigt positive Auswirkungen, wie Studien von Selkowitz [173] (2200Hz), Cabric und Appell [27] (2500 Hz) und Kresse [107] (Frequenzwechselreizung) dokumentieren. Snyder-Mackler et al. [175] fanden die mittelfrequente EMS (2500Hz) der niederfrequenten (50Hz) überlegen; die Patientengruppe mit ausschließlich Krankengymnastik schnitt im Ergebnis sogar besser ab als die EMS-Gruppe mit 50 Hz. Im Gegensatz dazu stehen die Untersuchungen von Appell [10], der keine Unterschiede zwischen den Frequenzen fand und von Kleditzsch und Lange [99], die Frequenzen um 2000 Hz im Vergleich zu 50 Hz ungünstiger bewerteten.

Elektrodenplatzierung: Die alleinige Stimulation der M. quadrizeps ergibt sich aus der stärkeren Atrophie und schwereren Trainierbarkeit desselben mit anderen Methoden. Die meisten Studien über EMS behandeln deshalb nur die Oberschenkelstreckmuskulatur. In Vergleichsstudien stimulierten Doench [35] und Buhmann et al. [25] Extensoren und Flexoren gleichzeitig (sog. Rundumspannung), beide mit positiven Ergebnissen.

Behandlungsdauer: In der Abschlussdiskussion des Expertengesprächs im Auftrag der Berufsgenossenschaften wird eine Behandlungsdauer von 4 - 10 Wochen empfohlen [202]. Mit 4 Wochen EMS ist erst die unterste Grenze dieser Empfehlung in dieser Studie erreicht. Möglicherweise brächte eine längere Behandlung bessere Ergebnisse. Nach 6 wöchiger EMS- Behandlung fanden Wigerstad-Lossing und Grimby [204] und Müller [139] deutliche Unterschiede zwischen EMS- und Kontrollgruppe, diese Ergebnisse sind wegen des abweichenden Studiendesigns (Gipsbehandlung, stationäre Behandlung) jedoch nicht vergleichbar. Die kurze Behandlungsdauer dieser Studie ergab sich aus der Tatsache, dass die Patienten bereits zu Beginn der 4. Woche mit der Anschlussheilbehandlung begonnen hatten.

Stimulationsdauer: Eine tägliche Stimulationsdauer von 3 x 30 min wird allgemein empfohlen, obwohl auch schon bei 2 x 30 min gute Ergebnisse erzielt werden konn-

⁶⁴ Siehe Kapitel 3.3.4. EMS - Parameter.

ten.⁶⁵ Fraglich ist, und die Ergebnisse dieser Studie bestätigen diese Überlegungen, ob die Patienten diesen Zeitaufwand wirklich betreiben. Zu den reinen Stimulationszeiten kommen auch Zeiten für An- und Ablegen der Elektroden usw. hinzu. Neben der EMS bekommen die Patienten sowohl zu Hause ein 4- stündiges CPM- Training, als auch tägliche physiotherapeutische Behandlung verschrieben. Es bedarf einiger Motivation, dieses Programm gewissenhaft durchzuführen. Die Untersuchungsergebnisse zeigen jedoch keinen Zusammenhang zwischen dem Aktivitätsniveau und der Stimulationszeit, d.h. die (erwartungsgemäß hochmotivierten) Leistungssportler waren in der EMS- Heimbehandlung nicht gewissenhafter als Freizeit- und Nichtsportler.

Cybox - Test

Da die Drehmomentmaxima (DMM) stark von der gewählten Testgeschwindigkeit abhängen, sind die Ergebnisse des Cybox - Tests nur schwer mit anderen Studien vergleichbar, nur wenige Untersucher verwendeten als Testgeschwindigkeit auch 120°/s. Die Messwerte des Eingangstests der gesunden Seite entsprechen in etwa den Durchschnittswerten, die Li et al. [121] in einer Studie zur Reliabilität dieses Tests bei gesunden Probanden fanden.⁶⁶ Die DMM der verletzten Seite der 12. postoperativen Woche liegen etwas über den Testergebnissen von Scharf [163] (3. - 6. postoperativer Monat) und Plaschke [156]. Die DMM des Abschlusstests im 9. Monat entsprechen bereits wieder den Durchschnittswerten gesunder Personen von Li et al. [121] , bzw. haben diese überschritten.

Die präoperativen *Seitendifferenzen* liegen mit 11% (Extensoren) und 6% (Flexoren) im Normalbereich. Der in der 12. Woche bestehende Seitenunterschied von 39% (Extensoren) bzw. 7% (Flexoren) entspricht den Ergebnissen von Plaschke [156]. Der starke Kraftunterschied der Extensoren ist auf eine starke DMM- Abnahme der verletzten bei gleichzeitiger Zunahme der gesunden Seite zurückzuführen. Verglichen mit dem Ausgangswert nimmt die Kraft der Extensoren bis zur 12. Woche nur um 25% ab, was zum großen Teil auf die frühfunktionelle Nachbehandlung zurückzuführen ist. Vergleichend dazu z. B. Buhmann et al. [25]: 9. - 13. Woche, Kraftdefizit ca. 15% (mit EMS) bis 33% (ohne EMS) bei ebenfalls frühfunktioneller Rehabilitation; Haller et al. [75]: 44% Defizit nach 14 Wochen; Hehl et al. [80]: 50% Defizit in der 12. Woche. Nach 9 Monaten ist sowohl für Extensoren als auch für Flexoren das präoperative Kraftniveau bereits überschritten. Die noch bestehende

⁶⁵ Siehe Kapitel 3.3.4. EMS - Parameter.

⁶⁶ Extensoren 150 Nm / 83 Nm, Flexoren 92 Nm / 52 Nm für männlich/weiblich.

Seitendifferenz der Extensoren von durchschnittlich 15% beruht auf der stärkeren Kraftzunahme der gesunden Seite (Extensoren: 13% zu präoperativ). Klinger und Rosemeyer [101] fanden durchschnittlich 2,5 Jahre postoperativ immer noch 15% Seitenunterschied, Schmidt et al. [169] bei anderer OP-Technik nach 1-2 Jahren sogar noch 26,2 %.

Interessant ist die Änderung des *H/Q-Quotienten* im Rehabilitationsverlauf. Während er auf der gesunden Seite im Normbereich liegt (ca. 68%) [121, 163], ist er auf der verletzten Seite bereits präoperativ deutlich erhöht (77%), was auf die bestehende Quadrizepsschwäche zurückzuführen ist. Dem postoperativen Wert von 103% in der 12. Woche entsprechen die Ergebnisse von Haller et al. [75] (94% in der 14. Woche), Hehl et al. [80] (130% bei 60°/s in der 12. Woche) und Plaschke [156] (81-93%). Mit 82% liegt der H/Q- Quotient nach 9 Monaten noch 15% über dem des gesunden Beins. Ursache dafür ist die proportional stärkere Flexorengruppe. Scharf und Noack [163] fanden nach 7-11 Monaten 20% und Klinger und Rosemeyer [101] nach 2,5 Jahren 15% Unterschied zwischen den H/Q- Quotienten.

Die gefundenen Geschlechtsunterschiede bezüglich der DMM werden durch die Untersuchungen von Li et al. [121] und Klinger und Rosemeyer [101] bestätigt. Hinsichtlich der Seitendifferenzen der Extensoren und Flexoren unterscheiden sich nur die Messwerte der 12. Woche zwischen den Geschlechtern zu Gunsten der männlichen Patienten (Signifikanzniveau 0,001 bzw. 0,01). Die H/Q-Quotienten sind bei männlichen und weiblichen Patienten annähernd gleich. Bezüglich der Kraftzu- bzw. -abnahme lässt sich keine einheitliche Tendenz erkennen, die Frauen zeigen auf der gesunden Seite tendenziell bessere und auf der verletzten schlechtere Ergebnisse als die Männer. Deshalb wurde die Auswertung der Unterschiede zwischen EMS-G und KG nicht getrennt nach Geschlecht durchgeführt.

Patienten mit höherem Aktivitätsniveau (Leistungssportler) haben erwartungsgemäß größere Kraftwerte im Eingangstest, dieser Zusammenhang ist jedoch nicht sehr stark. Die Kraftdefizite im Seitenvergleich und die Zu- bzw. Abnahme der DMM im Zeitverlauf ist unabhängig vom Aktivitätsniveau der Patienten.⁶⁷

⁶⁷ Es besteht nur ein leichter positiver Zusammenhang zwischen dem Aktivitätsniveau (nach Tegner) vor der Verletzung (nicht aber präoperativ) und den DMM des präoperativen Cybex-Tests ($p=0,26 - 0,33$; Sig. 0,05). Etwas deutlicher wird dieser Zusammenhang postoperativ ($p=0,52 - 0,56$, Sig. 0,01). Zu dem Objektivierungskriterium, der Änderung der DMM sowie den H/Q- Quotienten und Seitendifferenzen besteht kein Zusammenhang.

Die Beobachtung von Seiler und Frank [172], dass die Testergebnisse der rechts operierten Patienten leicht besser sind, können bestätigt werden. Sie zeigen stärkere Kraftzunahmen bzw. geringere Kraftabnahmen (Extensoren verletzt) der verletzten und der unverletzten Seite als die links operierten, diese Unterschiede sind jedoch nicht signifikant.

Die prozentuale Kraftänderung im Rehabilitationsverlauf ist abhängig von der Ausgangslage. Bei niedrigen Ausgangswerten (Eingangstest) finden sich signifikant höhere prozentuale Kraftanstiege (bzw. geringere Kraftverluste) als bei hohen. Dies bestätigt die Ergebnisse von Müller [139]. Aber auch die absoluten Kraftanstiege (in Nm) korrelieren, wenn auch nicht so deutlich wie die prozentualen, negativ mit den DMM des Eingangstests.⁶⁸

Zusammenfassend sind als Einflussfaktoren auf die Kraftentwicklung das Geschlecht, das präoperative Kraftniveau und die verletzte Seite (rechts oder links) zu nennen.

Im Gruppenvergleich finden sich keine signifikanten Unterschiede im wichtigsten Objektivierungskriterium der EMS- Behandlung, der Änderung der DMM (Kraftzu- bzw. -abnahme) im Zeitverlauf. Die Vermutung liegt nahe, dass bei besserer Compliance der Patienten (alle hätten vorschriftsmäßig die EMS- Behandlung durchgeführt), ein Unterschied in der Kraftentwicklung erkennbar gewesen wäre. Dagegen spricht jedoch, dass innerhalb der EMS-Gruppe, die Patienten mit hoher Stimulationszeit (vorschriftsmäßige Anwendung) keine besseren Ergebnisse als diejenigen mit niedriger Stimulationszeit aufweisen.⁶⁹

Die Ergebnisse dieser Studie lassen sich hinsichtlich des Studiendesigns (Operationsverfahren, Nachbehandlung und EMS- Behandlung) am ehesten mit den Untersuchungen von Buhmann et al. [25] vergleichen. Lediglich die Stimulationsdauer und -häufigkeit (täglich 2 x 30 min über mindestens 8 Wochen →56 Stunden) und die Elektrodenanlage (Quadrizeps und Hamstrings) unterscheiden sich. Buhmann bildete 3 Gruppen mit je 12 Patienten (Kontrollgruppe: frühfunktionelle Nachbehand-

⁶⁸ Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen Stärke der präoperativen Muskelatrophie und Muskelkraftzunahme, d.h. starke präoperative Seitendifferenzen der Extensoren korrelieren mit größeren Kraftzunahmen der Extensoren der verletzten Seite ($p=0,301$ bzw. $0,455$). Dieser Zusammenhang ist auch für die Flexoren der gesunden ($p= 0,424$ bzw. $0,352$), nicht aber der verletzten Seite nachweisbar. Analog dazu ist die Kraftzunahme abhängig von der Ausgangslage, d.h. geringe präoperative Kraftwerte korrelieren mit stärkeren Kraftzuwachsen bzw. geringeren Kraftabnahmen bis zur 12. Woche. Nach 9 Monaten ist dieser Zusammenhang nicht mehr nachweisbar.

⁶⁹ Vgl. Anhang 4: Zusammenhang zwischen Stimulationszeit und Cybex - Krafttest.

lung, EMS-Gruppe: ab 7. Tag zusätzlich EMS, Isokinetik- Gruppe: EMS und ab 8. Woche isokinetisches Training). Buhmann konnte einen deutlichen EMS- Effekt nachweisen. Es zeigte sich, dass die postoperative Inaktivitätsatrophie in den beiden EMS-Gruppen geringer ausfiel als in der KG, d. h. die Extensoren der verletzten Seite nahmen weniger an Kraft ab. Dieser Unterschied war am deutlichsten in der 9. postoperativen Woche und hatte sich bis zur 13. Woche nur etwas ausgeglichen. Beim Vergleich der Ergebnisse des Cybex - Tests mit der vorliegenden Studie fallen die bereits präoperativ deutlich höheren DMM (durchschnittlich 190 Nm sowohl Extensoren als auch Flexoren verletzt) und der präoperativ hohe H/Q- Quotient von ca. 100% auf. Des Weiteren zeigten die Flexoren eine Kraftabnahme bis zur 13. Woche. Diese Unterschiede erschweren die Vergleichbarkeit dieser Studie. Möglicherweise bestand bereits präoperativ eine starke Atrophie der Extensoren der verletzten Seite, was den hohen H/Q- Quotienten und das gute Ansprechen auf die EMS- Behandlung⁷⁰ erklären könnte. Leider liegen keine Angaben zur unverletzten Seite vor, um diese Vermutungen überprüfen zu können. Eine weitere Studie zum Nutzen einer zusätzlichen EMS- Heimbehandlung führten Franke et al. [50] durch. Er fand ebenfalls im 3. Monat deutliche Unterschiede, jedoch testete er die *isometrische* Maximalkraft. Dieses Ergebnis lässt sich mit der vorliegenden Studie insofern nur bedingt vergleichen, da die Patienten im Gips nachbehandelt wurden und somit einer stärkeren Immobilisation unterlagen. Ebenfalls einen stärkeren Zuwachs der *isometrischen* Maximalkraft fanden Börnert und Dippold [21] an gesunden Probanden. Dass eine zusätzliche EMS- Behandlung besonders dann einen Nutzen bringt, wenn eine ausgeprägte Immobilisationsatrophie zu erwarten ist, zeigen Untersuchungen von Wigerstad-Lossing und Grimby [204] an Kreuzbandpatienten mit 6-wöchiger Gipsbehandlung und Müller [139] an älteren Patienten, die nach Knieendoprothetik stationär behandelt wurden. Beide Untersucher testeten die isometrische Maximalkraft. Es ist zu vermuten, dass ein statisches Training wie die EMS sich am empfindlichsten durch ein statisches Messverfahren nachweisen lässt. Im Gegensatz dazu stehen zahlreiche Studien, die eine zusätzliche EMS-Behandlung mit alleinigem (isometrischen) Training verglichen und keine Unterschiede in der Kraftentwicklung fanden. Zu nennen sind: Currier et al. [31] (47 gesunde, EMS 6x6 sec an 2x5 Tagen bei 25 Hz), Eriksson et al. [45] (nur geringer Effekt), McMiken et al. [131] (10x10s an 3x4 Tagen bei 75Hz), Alon et al. [4] (4 Wochen bei 50 Hz, Bauchmuskulatur). Garrett et al. [60] fanden keinen Unterschied zwischen alleiniger EMS und isometrischer Übung. Ebenfalls keinen Nutzen einer zusätzlichen EMS mit 2500 Hz über 5 Wochen konnten Currier und Mann [31] und Laughmann [119]

⁷⁰ Je ausgeprägter die Atrophie ist, um so besser wirkt die EMS [78].

nachweisen. Kubiak et al. [109] fanden bei gesunden Probanden die isometrische Übung der EMS hinsichtlich der isometrischen Maximalkraft sogar überlegen, bei isokinetischer Testung bestanden keine Unterschiede.

Die fehlenden Unterschiede der vorliegenden Studie in der isokinetischen Testung zwischen EMS-G und KG reihen sich in die oben angeführten Studienergebnisse ein. Es sind jedoch noch folgende Einflussfaktoren zu diskutieren: Die bereits präoperativ bestehenden signifikanten Kraftunterschiede zugunsten der KG lassen auf eine inhomogene Verteilung (trotz Randomisierung) der Patienten schließen. Die Patienten der KG haben ein etwas höheres Aktivitätsniveau (Tegner - Score vor Verletzung), dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Das niedrigere präoperative Kraftniveau hätte zu einer stärkeren Kraftzunahme der EMS-G führen können, das trifft jedoch nur für die absoluten DMM des gesunden Beins zu. Negativ auf die Kraftentwicklung der EMS-G könnten sich der größere Frauenanteil (27% - KG: 11%) und der kleinere Anteil rechts Verletzter (40% - KG: 68%) ausgewirkt haben. Diese Vermutung wird unterstützt durch die Tatsache, dass innerhalb der EMS-Gruppe die weiblichen Patienten bezüglich der Kraftänderung in der 12 postoperativen Woche signifikant schlechter abschneiden (geringe Fallzahlen). Ob dies auf ein schlechteres Ansprechen weiblicher Probanden auf EMS zurückzuführen ist, bleibt fraglich; in der Literatur herrscht darüber keine Einigkeit.⁷¹ Ebenfalls ungünstig auf das Ergebnis des Cybex - Tests könnte sich der Testzeitpunkt (12.postoperative Woche) ausgewirkt haben. Die größte Abnahme der Kraft fand sich bei Studien von Franke [50] und Buhmann [25] in der 6. bzw. 9. Woche, danach nahm die Kraft des verletzten Beins wieder zu. Ein zu einem früheren Zeitpunkt (als 12. Woche) eventuell vorhandener Unterschied konnte in dieser Studie deshalb nicht erfasst werden. Jedoch wäre zu erwarten, dass ein in der beispielsweise 9. Woche vorhandener deutlicher Gruppenunterschied auch noch 3-4 Wochen später, wenn auch in abgeschwächter Form, nachweisbar ist, wie die Kraftverlaufsstudien von Buhmann et al. [25] zeigen.

Abschließend soll der Cybex - Test selbst kritisch beurteilt werden. Durch die Festlegung von Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit wird eine reduzierte Testsituation geschaffen, dessen Ergebnis nicht mit der tatsächlichen Leistungsfähigkeit des Probanden übereinstimmt, wie Untersuchungen bei Leistungsschwimmern gezeigt haben [86]. Auch für den rehabilitativen Bereich ist der Cybex - Test nicht immer geeignet, da Validität und Reliabilität der Parameter sich mit verletzungsbedingten

⁷¹ Ein schlechteres Ansprechen der Frauen fand [136], ein besseres [13, 43], keinen Unterschied fanden [46, 173].

Einschränkungen am Kniegelenk verändern [51]. Folgende Fehlermöglichkeiten könnten die Testergebnisse beeinflusst haben: Da der Cybex - Test von mehreren Untersuchern durchgeführt wurde, spielt der Einfluss des Testleiters eine nicht unerhebliche Rolle. Jedoch wurde vor Beginn der Studie die Messmethodik verbindlich festgelegt und bei allen Tests exakt eingehalten, so dass nur der Faktor der Motivation des Probanden durch den Untersucher einflussgebend gewesen sein könnte. Mayer nennt als weitere Fehlermöglichkeiten: falsche Fixierung des Probanden, ungenügende Vertrautheit der Testperson mit dem Gerät und Messartefakte, die v.a. bei schnellen Testgeschwindigkeiten auftreten [130]. Durch die Wahl einer niedrigen Testgeschwindigkeit ($120^\circ/\text{s}$) sowie sorgfältiger Fixierung und Einweisung der Patienten wurde versucht, diese Fehler möglichst gering zu halten.

OSU - Bestimmungen:

Obwohl die Bestimmung des Oberschenkelumfangs als Objektivierungsmethode umstritten ist, wird sie wegen der einfachen Durchführbarkeit doch häufig eingesetzt. Bei genauerem Studium der Literatur fällt jedoch auf, dass in den meisten Vergleichsstudien zu EMS mit der OSU- Messung kein Unterschied zwischen den Versuchsgruppen feststellbar war [99, 107, 161]. Lediglich mit Sonographie und CT- Untersuchungen ließen sich EMS- Effekte nachweisen [9, 13, 174]. Die in dieser Studie gefundenen leichten Unterschiede zwischen EMS-G und KG sind vor diesem Hintergrund kritisch zu betrachten. Sie betreffen nur die *Änderung* des OSU im Rehabilitationsverlauf, nicht aber die bestehenden Seitendifferenzen und Absolutwerte. Klinisch ist dieser Gruppenunterschied daher von untergeordneter Bedeutung, da nach Abschluss der Rehabilitationsmaßnahmen die EMS-G bezüglich des Oberschenkelumfangs nicht besser abschneidet, als die KG. Die Dissertationsarbeit von Müller [139] (EMS in der Nachbehandlung nach Kniegelenksendoprothetik) kann mit Einschränkung vergleichend herangezogen werden. Auch er fand geringe, nicht signifikante, Unterschiede in der OSU - *Änderung* zugunsten der EMS-G, bewertete dieses Verfahren jedoch als ungeeignet, da u.a. Schwellungszustände das Ergebnis beeinflussen können. Dieser Faktor ist auch in der vorliegenden Studie zu benennen. Die Tatsache, dass zwar Unterschiede in der Änderung des OSU, nicht aber in der Änderung der Kraftverhältnisse gefunden werden, wird durch den fehlenden Zusammenhang bei der Korrelationsanalyse bestätigt.⁷² Dass Kraftzunahmen nicht mit OSU- Zunahmen einher gehen müssen, fand auch Enoka [41].

Fastex - Test

Studien mit dem Fastex- Test- und Trainingssystem sind in der Literatur bisher nicht beschrieben worden. Deshalb können keine vergleichbaren Arbeiten zur Wertung der eigenen Ergebnisse herangezogen werden. Die einzige bekannte, unveröffentlichte Untersuchung wurde im Rehabilitationszentrum am Kreuz Erfurt im Rahmen einer Diplomarbeit erstellt [156]. Ergebnisse dieser Untersuchung flossen bereits in die Planung dieses Teils der Studie ein. Die Testsituation am Fastex lässt sich bedingt mit anderen dynamischen Tests vergleichen, die in der Diskussion genannt werden.

Gait Step Test: Dieser Test sollte dazu dienen, Unterschiede zwischen EMS- und KG bezüglich möglicherweise vorhandener Gangbildassymetrien aufzudecken. Noch 1 Jahr nach Kreuzbandplastik wiesen Schmalz et al. [165, 166] Seitenunterschiede im Gangbild der Patienten nach. Sie verwendeten hierzu ein optoelektronisches System kombiniert mit Kistler- Kraftmessplatten. Dies erlaubt die Erfassung von Kniewinkeln und Bodenreaktionskräften. Schmalz und Mitarbeiter fanden ein in der 8. Woche deutlich erhöhtes Flexions- Extensions- Defizit, was auch ein Jahr nach Operation noch nicht vollständig ausgeglichen war. Hinsichtlich der Bodenreaktionskräfte unterschied sich das verletzte Bein bis zur 11. postoperativen Woche ebenfalls deutlich vom gesunden. Tibone et al. [184] fanden bei einer Ganganalyse ca. 3 Jahre nach hinterer Kreuzbandrekonstruktion keine Unterschiede bei der zeitlichen Auswertung, konnten jedoch eine vermehrte Knieflexion in der Stützphase des verletzten Beins nachweisen. Andere Ganguntersuchungen beziehen sich auf alte, konservativ behandelte Kreuzbandrupturen. Hier wurde mittels EMG- Kontrolle ein verändertes Aktivierungsmuster erst nach stärkerer Belastung (Laufbandsteigung oder nach 10 Minuten Gehen) deutlich [94, 193]. Gauffin et al. [61] fanden bei einer Ganganalyse 16 Monate nach Verletzung keine Unterschiede zwischen gesundem und verletztem Bein. In der vorliegenden Studie wurde die Ganganalyse in der 6. postoperativen Woche mit Beginn der Vollbelastbarkeit durchgeführt. Aufgrund der teilweise positiven Studienergebnisse wurde erwartet, Asymmetrien im Gangbild nachweisen zu können. Diese Vermutung hat sich nicht bestätigt. Die gemessenen Seitendifferenzen der Testwerte sowohl der EMS-G als auch der KG lagen im Mittel unter 1%. Da es sich hierbei nur um eine zeitliche Analyse handelt, ist zu vermuten, dass dieses Testverfahren nicht die nötige Sensitivität aufweist, um leichte Gangbildveränderungen zu erfassen. Für die Fragestellung der Objektivierung von EMS- Effekten auf die neuromuskuläre Koordinationsleistung erscheint dieser Test als ungeeignet.

⁷² Es besteht kein Zusammenhang zwischen Cybex - Test präoperativ bzw. 12. Woche und Oberschenkelumfang

Stabilisation Step Test: Plaschke [156] fand in den Untersuchungen zum Stabilisation Step Test deutliche Unterschiede zwischen gesundem und verletzten Bein bezüglich der Stabilisierungszeit (ST). Durch entsprechendes Training konnten diese auf unter 10 % verringert werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie weichen etwas von diesen ab. Die durchschnittlichen Stabilisierungszeiten unterscheiden sich nicht zwischen gesundem und verletztem Bein, d. h. die Patienten benötigten im Durchschnitt mit beiden Beinen gleich viel Zeit, um nach dem Abstieg von einer Stufe zu einem sicheren Stand zu kommen. Das hat folgende Ursachen. Einerseits ist die ST ein Maß für das Stabilisierungsverhalten des Testbeins, eine lange ST kennzeichnet eine schlechte neuromuskuläre Koordination. Andererseits wird die ST in nicht unerheblichem Maße von der Muskelkraft und Koordinationsleistung des anderen Beins bestimmt, welches beim Abstieg Bremsarbeit zu leisten hat. Bestehen hier Defizite, wirkt sich das negativ auf die ST des Testbeins aus. In den Untersuchungen von Plaschke überwog der zuletzt genannte muskuläre Einfluss, so dass die ST der gesunden Testbeine durchschnittlich länger waren als die der verletzten und somit ein Maß für die muskuläre Situation des Nichttestbeins darstellten. Dieses Ergebnis konnte in der vorliegenden Arbeit nicht reproduziert werden, obwohl identische Testbedingungen vorlagen. Somit erbrachte auch der Gruppenvergleich keine verwertbaren Ergebnisse. Im Einzelfall wurden deutlich negative oder positive Seitendifferenzen gefunden, abhängig davon, ob die ST mehr durch defizitäres Stabilisierungsverhalten oder durch Minderung der Muskelkraft beeinflusst wurde. Im intraindividuellen Vergleich stellt dieser Test eine gute Möglichkeit der Kontrolle des Rehabilitationsverlaufs dar. Für den interindividuellen Vergleich erscheint er aufgrund der hohen Streuung der Messwerte eher ungeeignet.

Quick feet: Dieser Test ist aufgrund der längeren Testdauer besonders geeignet, Seitendifferenzen in der Belastung der Beine aufzuzeigen. In den Untersuchungen von Plaschke lagen diese für den Messwert Average Ground Time (AGT) unter 10%. Dieses Ergebnis konnte in der vorliegenden Studie reproduziert werden. Die GT unterscheidet sich jedoch nur geringfügig zwischen EMS-G und KG, so dass beide Gruppen hinsichtlich der Leistung für diesen Testwert als gleichwertig zu betrachten sind. Der Parameter ATS (Average Transit Speed) wurde in der Arbeit von Plaschke nicht in die Auswertung einbezogen, da dessen Interpretation schwierig ist. Die ATS kennzeichnet die Geschwindigkeit, mit der das Testbein bewegt wird. Sie weist eine hohe Streuung auf. In der vorliegenden Studie zeigte sich rechne-

risch ein signifikanter Gruppenunterschied; die KG bewegte das verletzte Bein durchschnittlich langsamer als das gesunde, die EMS-G hatte dagegen im Durchschnitt bei beiden Beinen fast gleiche Geschwindigkeiten. Betrachtet man jedoch die Standartabweichungen, die sich stark überlappen, kann dieser Unterschied nur als zufällig eingestuft werden.

Für die Fragestellung der Studie ergab sich, dass mittels des Fastex - Systems keine Unterschiede in der Leistungsfähigkeit in dynamischen Testsituationen zwischen EMS-G und KG gefunden wurden.

Lachmann - Test

Die Ergebnisse des postoperativen Lachmann - Tests wurden erst nach ca. 9 Monaten erhoben, da eine Aussage über die Stabilität zu einem früheren Zeitpunkt aufgrund von Schmerzen, Schwellung usw. nicht sicher möglich ist und auch kein endgültiges Ergebnis darstellt. Ein negativer Lachmann - Test bei 80% der Patienten ist als sehr gutes Operationsergebnis zu werten. Rechnet man dazu noch die einfach positiven Testergebnisse mit festem Anschlag, so können 89 % der Kniegelenke als stabil eingestuft werden. Spätergebnisse bleiben abzuwarten, da anzunehmen ist, dass die Instabilitätsrate noch zunimmt [149]. Kellermann [95] fand 2-5 Jahre postoperativ bei 62% der Patienten einen negativen und bei 22% einen einfach positiven Lachmann - Test; Bonnaire [20] stellte 1-2 Jahre nach Operation bei 40% einen negativen und bei 48% einen einfach positiven Lachmann – Test fest.⁷³

Hinsichtlich der Stabilität bestehen keine Unterschiede zwischen EMS-G und KG. Mögliche störende Einflüsse der Kniebandstabilität auf das Studienergebnis sind deshalb nicht zu erwarten.

Bewegungsumfang

Ein wesentliches Problem nach Kreuzbandoperationen ist ein oft länger andauerndes Bewegungsdefizit im Kniegelenk. Eine Extensionseinschränkung von mehr als 5° hatten 6 Patienten, eine Flexionsbehinderung bis 20° wiesen 23 und über 20° noch 13 Patienten auf.⁷⁴ Ursachen für die postoperative Bewegungseinschränkung sieht Petersen [154] in Kapselschrumpfung, Verwachsungen, inkorrektter Refixation, Störung des neuromuskulären Systems, Muskelverkürzung, übermäßigem Schmerz und Erguss.

⁷³ Weitere Nachuntersuchungsergebnisse sind zu finden bei: [87] (24% stabil) und [104] (26% stabil, 44% + mit Anschlag).

⁷⁴ Einteilung nach Sprenger [177]. Er fand 4% Extensionsdefizit <5° und 33% bzw. 13% Flexionsdefizit < bzw. > 20°.

Lysholm - Score

Der Lysholm - Score als fast rein subjektiver Score bewertet die Kniefunktion aus Sicht des Patienten. Sowohl präoperativ als auch 6 Wochen postoperativ ergibt sich mit 67 Punkten ein „zufriedenstellendes“⁷⁵ Ergebnis, wobei nach der Operation der Anteil der mit „schlecht“ bewerteten Punkte zugenommen hat. Etwa 1,5 Jahre postoperativ ist der Punktescore um 20 auf 87 („gut“) angestiegen. Dieser Wert entspricht den Untersuchungen von Wülker et al. [209] (85 nach 31 Monaten), Bonnaire et al. [20] (91/87 nach 1 Jahr) und Buhmann et al. [25] (83 nach 1 Jahr).

Die Überlegung, dass sich die EMS- Behandlung möglicherweise positiv auf das subjektive Empfinden des Patienten auswirkt, kann nicht bestätigt werden, da sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen finden.

Die Ergebnisse von Seiler und Frank [172], die einen positiven Zusammenhang zwischen H/Q - Quotienten und Lysholm - Score nachwiesen, können nicht bestätigt werden. Ein deutlicher Zusammenhang fand sich jedoch zwischen dem Lysholm - Score und den DMM des verletzten Beins und der Seitendifferenz im Cybex - Test. Präoperativ ist dieser am stärksten, da Cybex - Test und Lysholm - Score am gleichen Tag erhoben wurden.⁷⁶ Diese Ergebnisse stehen teilweise im Gegensatz zu Untersuchungen von Harter et al. [77], der feststellte, dass das subjektiv beurteilte Behandlungsergebnis nicht mit objektiv erhobenen statischen und dynamischen Tests übereinstimmt. Zum Lachmann - Test (Stabilität) und zum postoperativen Bewegungsausmaß (objektiv erhoben nach NNM) konnte jedoch - wie auch von Harter - kein Zusammenhang gefunden werden. Patienten mit objektiver Einschränkung der Beugung oder Streckung hatten ebenso hohe Punktwerte wie Patienten mit voller Beweglichkeit. Im Gegensatz dazu korreliert der Lysholm - Score sehr gut mit subjektiv erhobenen Kniefunktionen (Fragebogenaktion). Eine subjektiv schlechte Beweglichkeit wirkt sich ebenso wie ein empfundenes Kraftdefizit negativ aus. Dass der Lysholm - Score sehr gut das Empfinden des Patienten widerspiegelt, beweist auch die gute Übereinstimmung zum Zufriedenheitsgrad.

Tegner - Score

Der Tegner - Score stellt das Aktivitätsniveau des Patienten auf einer Scala von 1 bis 10 dar. Der hohe präoperative Punktwert von 8,5 verdeutlicht den hohen Sport-

⁷⁵ Einteilung siehe Kapitel 4.5.7. Lysholm - Score.

⁷⁶ Vgl. Anhang 5: Zusammenhang zwischen Lysholm - Score und Cybex - Test.

leranteil. Durch die Verletzung sank der Punktwert auf 4 (=Freizeitsportniveau). Durch die Operation konnte das Aktivitätsniveau deutlich angehoben werden, bleibt jedoch durchschnittlich um 1,5 Punkte hinter dem ursprünglichen Niveau zurück. Etwa 60% der Patienten konnten ca. 1,5 Jahre postoperativ ihr ursprüngliches Aktivitätsniveau wieder erreichen, was als gutes Ergebnis zu werten ist. Hinsichtlich der Entwicklung des Tegner - Scores können Vergleichsstudien von Kleipool et al. [100] (8 vor Verletzung, 7 ca. 2-3 Jahre postoperativ), Kellermann et al. [95] (7 vor Verletzung, 6 nach 2-5 Jahren) und Wülker et al. [209] (7 vor Verletzung, 6 nach 2,5 Jahren) herangezogen werden. Bei all diesen Studien beträgt der Aktivitätsverlust nur 1 Punkt, das Ausgangsaktivitätsniveau ist jedoch niedriger und der Nachuntersuchungszeitraum deutlich länger als bei der vorliegenden Studie. Die Feststellung von Wülker et al. [209], das Tegner - und Lysholm - Score nur postoperativ korrelieren, kann zum Teil bestätigt werden. Es wurde jedoch auch präoperativ ein leichter Zusammenhang gefunden.

Fragebogenaktion

Die Versendung eines Fragebogens an alle Patienten der Studie sollte zum einen der Erfassung wichtiger Daten zum vorläufig endgültigem Ergebnis der Behandlung dienen, zum anderen wurden einige Fragen zur EMS- Behandlung selbst gestellt. Auf diese soll zuerst eingegangen werden.

Obwohl die meisten Patienten die EMS- Behandlung als „wichtig für den Erhalt der Oberschenkelmuskulatur“ einstufen, wurde die vorgeschriebene Behandlungsdauer nur von wenigen Patienten eingehalten. Da alle die Behandlung als angenehm oder tolerabel empfanden, kann dies nicht der Grund für die Nichtanwendung sein. Als eine andere Ursache kommt ungenügende Information der Patienten in Betracht. Alle Patienten wurden von zwei erfahrenen Krankenschwestern sorgfältig in die Handhabung des EMS - Geräts eingewiesen und mit einem zusätzlichen Faltblatt versorgt. Außerdem wurden alle Patienten schriftlich über die Teilnahme an einer wissenschaftlichen Studie informiert. Auch war die Dauer der Einzelbehandlungen an den Geräten voreingestellt. Deshalb verwundern die stark differierenden Angaben der Probanden zur Nutzungsdauer - und Häufigkeit der Elektrostimulationsbehandlung. Nur 5 Patienten behandelten vorschriftsmäßig 3 x 30 min täglich. Vor allem die Dauer der Einzelbehandlung wurde in vielen Fällen auf 10 - 15 min verkürzt. Die Tatsache, dass zumindest einige Patienten vorschriftsmäßig die Behandlung durchführten, spricht gegen eine ungenügende Information, da diese bei allen Patienten gleich vorgenommen wurde. Die Ursache dafür, dass sich nur ein Patient zu der Frage: „Warum die EMS- Behandlung nicht so oft wie empfohlen durchge-

führt wurde“ - äußerte, mag möglicherweise in der Formulierung der Frage selbst begründet sein, da sich zwangsläufig ein Fehlereingeständnis ergibt. Hier hätte eine andere Wortwahl möglicherweise mehr Antworten ermöglicht. Leider kann aus der Beantwortung dieser Fragen kein Hinweis auf die möglichen Ursachen der schlechten Patientencompliance gezogen werden. Eine theoretische Ursache könnte in der Handhabbarkeit des Gerätes selbst liegen, ein Patient empfand die Behandlung auch als zu umständlich und kompliziert. Dagegen sprechen jedoch Erfahrungen von Doench [35], der in einer vergleichbaren Studie EMS- Geräte verschiedener Hersteller verwendete. Dabei wurde dem BMR 2 Powerstim von Seiten der Patienten eine gute Handhabbarkeit bescheinigt, das Gerät schnitt im Vergleich mit anderen am besten ab.

Die übrigen Punkte des Fragebogens zur Kniesituation ergaben keine besseren Ergebnisse bei der EMS-Gruppe, so dass angenommen werden muss, dass langfristig die EMS- Behandlung keinen Nutzen für die vom Patienten selbst empfundene Kniefunktion hatte. Ebenso bewirkte die zusätzliche EMS- Behandlung keine Verkürzung der Arbeitsunfähigkeit. Diese ist vielmehr von berufsbedingten Faktoren abhängig. Die hin und wieder geäußerte Vermutung, die EMS- Behandlung könnte zu häufigeren postoperativen Kniegelenksergüssen führen [99], kann nicht bestätigt werden. In der vorliegenden Studie hatten die Patienten der KG etwas häufiger als die der EMS-G einen punktionspflichtigen Kniegelenkserguss.⁷⁷

Nach eigenen Angaben waren ca. 1,5 Jahre postoperativ 87,3% der befragten Patienten mit ihrem Behandlungsergebnis (sehr) zufrieden. Diese Probanden gaben „gute Stabilität“ als wichtigstes Kriterium an. Eine Zusammenhangsanalyse ergab, dass diese Patientengruppe außerdem auch Kraft und Beweglichkeit als gut bewerteten. Die Patienten, welche unzufrieden waren, benannten vor allem Schmerzen, Schwellung und Bewegungseinschränkung als Ursachen. Hier ergab die Analyse nur zum Punkt „Schmerzen“ eine gute Korrelation.

7. Schlussfolgerungen

Der hohe Anteil zufriedener Patienten, die im Vergleich kurze Dauer der Arbeitsunfähigkeit (zum Vergleich: Kellermann [95]: 18 Wo., Holzach [87]: 4,6 Mo.⁷⁸), und die guten postoperativen Stabilitätsverhältnisse sprechen - neben dem guten durch-

⁷⁷ Es muss darauf hingewiesen werden, dass es sich um Informationen aus einer Patientenbefragung handelt, diese stimmen möglicherweise nicht immer mit den tatsächlichen Daten überein.

⁷⁸ Indirekte Angaben über die Dauer der Arbeitsunfähigkeit lassen sich aus der Rehabilitationsdauer ableiten, die in den nachfolgend angeführten Studien mindestens 12 Wochen betrug [25, 75, 80, 84].

schnittlichen Lysholm - Score und der Tatsache, dass 60% der Patienten ihr ursprüngliches Aktivitätsniveau wieder erreichten - für ein gutes Operations- und Behandlungsergebnis nach vorderer Kreuzbandruptur - mit oder ohne zusätzlicher EMS- Behandlung. Vor allem auch die durchschnittlich gute muskuläre Situation in EMS- und KG (Seitendifferenz 15% nach 9 Monaten, präoperatives Kraftniveau überschritten), lässt auf wirkungsvolle Rehabilitationsmaßnahmen schließen. Durch die früh einsetzende aggressive Rehabilitation konnte die postoperative Muskelatrophie gering gehalten werden. Da die EMS- Behandlung keine Verbesserung des postoperativen Outcomes lieferte, erscheint der Nutzen dieser zusätzlichen Behandlungsmaßnahme fraglich und kann, auch aus Kostengründen, bei vergleichbarem Nachbehandlungsschema nicht generell empfohlen werden. Zu prüfen wäre, ob die Patienten die EMS als Heimbehandlung gewissenhafter ausführen, wenn sie sich einer Kontrolle und eventueller Konsequenzen bewusst wären. Eine prospektive Studie mit entsprechendem Studiendesign könnte hier genauer Aufschluss geben. Zu prüfen wäre weiterhin, ob eine Änderung der Elektrodenanlage (gleichzeitige Stimulation des M. quadrizeps und der Hamstrings) bessere Behandlungsergebnisse bringt. Eine andere Möglichkeit des Nachbehandlungsregimes wäre die selektive EMS- Behandlung bestimmter Risikogruppen⁷⁹, z.B. Patienten mit zu erwartender *besonders starker* postoperativer Muskelatrophie. Dazu wäre eine Studie nötig, die diese Risikogruppen auffindet. Aus dem Datenmaterial dieser Studie ergaben sich dazu keine eindeutigen Erkenntnisse; als Einflussfaktoren wären beispielsweise die präoperative muskuläre Situation, die Verletzungsdauer, das Aktivitätsniveau und das Geschlecht zu prüfen. Zuletzt wirft sich die Frage auf, wie das Behandlungsergebnis nach Kniebandoperation insgesamt zu beurteilen ist. Wie auch diese Studie zeigte, stimmen objektive und subjektive Untersuchungsmethoden nicht überein [102]. Als gutes Mittel zur Ermittlung der subjektiven Kniefunktion hat sich der Lysholm - Score erwiesen. Dessen Punktzahl stimmt gut mit dem mittels Fragebogen ermittelten Zufriedenheitsgrad, aber auch gut mit den Ergebnissen des Cybex - Tests überein. Ein routinemäßiger Einsatz in der ärztlichen Praxis zur Überwachung und Feststellung des Therapieerfolgs wäre vorstellbar, zumal der Aufwand nur gering ist (kann von den Patienten selbst ausgefüllt werden).

8. Zusammenfassung

In der Zeit vom Mai 1998 bis Januar 1999 wurden im ambulanten Rehabilitationszentrum am Urbicher Kreuz in Erfurt 92 Patienten (Altersdurchschnitt 29,2 Jahre)

⁷⁹ Housten zieht aus seiner EMS - Studie die Schlussfolgerung, EMS nur dort einzusetzen, wo konventionelles Training nicht möglich ist [89].

mit einer vorderen Kreuzbandersatzplastik (Methode modifiziert nach Brückner) versorgt und nachbehandelt. Die Rehabilitation erfolgte frühfunktionell in der 3. - 7./8. postoperativen Woche im Rehazentrum. Ziel dieser Studie war es, den Nutzen der Elektromyostimulationsbehandlung (EMS) mit transportablen Geräten als Heimbehandlung zu prüfen. Dazu wurde eine prospektive randomisierte Studie durchgeführt. Die Patienten wurden in 2 Gruppen aufgeteilt, von denen eine mit (EMS-G) und eine ohne EMS (KG) nachbehandelt wurde. Alle Patienten wurden vom gleichen Operateur nach einheitlicher Methode operiert und erhielten, abgestimmt auf die individuellen Erfordernisse, das gleiche Nachbehandlungsschema. Lediglich die Patienten der EMS-G erhielten zusätzlich für 4 Wochen ein Gerät zur Heimbehandlung und begannen am 2. /3. postoperativen Tag selbstständig mit der Therapie. Als Objektivierungsmethoden kamen ein Cybex - Krafttest (12. POW), Oberschenkelumfangbestimmungen, Fastex - Tests (6. POW) und der Lysholm - Score (6. POW) zur Anwendung.

Nach Auswertung der Ergebnisse zeigte sich, dass sich die Patientengruppen trotz Randomisierung in der Ausgangslage des Krafttests deutlich unterscheiden. Deshalb wurden die prozentualen Zuwachsraten als Vergleichskriterium herangezogen. Zwischen EMS-G und KG fanden sich keine oder nur geringfügige Unterschiede in der postoperativen Kraftentwicklung, in der Änderung des Oberschenkelumfangs, bei funktionellen Tests (Fastex) und in der Punktezahl des Lysholm - Scores. In der 12. postoperativen Woche hatten die Oberschenkelextensoren einen Kraftverlust von -23% aufzuweisen, nach 9 Monaten zeigte sich eine Kraftzunahme von 10% bezogen auf die Ausgangslage. In den funktionellen Tests (Fastex) zeigten alle Patienten gute bis sehr gute Ergebnisse, zur Objektivierung von EMS- Effekten erwiesen sich diese wegen der hohen interindividuellen Variabilität jedoch als ungeeignet. Der Lysholm - Score betrug präoperativ 67 Punkte, in der 6. postoperativen Woche 68 und stieg nach 1,5 Jahren auf 87 Punkte. Das Aktivitätsniveau nach Tegner fiel von 8,5 (vor der Verletzung) auf 4 (präoperativ) und stieg 1,5 Jahre postoperativ auf 7 Punkte. 88% der Patienten äußerten sich in einer Fragebogenaktion als zufrieden mit dem Behandlungsergebnis.

Die EMS- Geräte erlaubten eine Kontrolle der durchgeführten Behandlungszeit nach Rückgabe. Dabei zeigte sich, dass nur 3 Patienten die vorgeschriebene Stimulationszeit eingehalten hatten, 68% der Patienten wendeten das Gerät weniger als die Hälfte der Behandlungszeit an. Innerhalb der EMS-G wiesen die Patienten mit langen Stimulationszeiten keine besseren Ergebnisse als die Patienten, welche nur wenig stimuliert hatten, auf. Für die Patienten dieser Studie erscheint der Nutzen

der EMS als prophylaktische Heimbehandlung auch aus Kostengründen fraglich. Zu prüfen wäre, ob Änderungen des EMS- Regimes (Elektrodenanlage, Information der Patienten über Kontrollmöglichkeit) oder der Einsatz nur bei bestimmten Risikogruppen sinnvoll ist.

Literaturverzeichnis:

1. **Ahrendt, E.; Frenzel, G. (1982):** Erfahrungen in der Diagnostik, Therapie und Rehabilitation bei Kreuzbandverletzungen, Med. u. Sport, 145-149.
2. **Aichroth, P. M.; Patel, D. V.; Jones, C. B.; Wand, J. S. (1991):** A combined intra- and extra- articular reconstruction using a carbon-dacron composite prosthesis for chronic anterior cruciate instability. A two to six-year follow-up study, Int. Orthop. 15(3), 219-227.
3. **Almekinders, N. C. (1984):** Transcutaneous muscle stimulation for rehabilitation, Phys. Sportsmed. 12, 118-124.
4. **Alon, G.; Bosworth, R. A.; Burgwin, K. C.; Koutsantonis, S.; McCombe, S. A.; Parent, M. M.; Stumphauer, L. J. (1985):** Comparison of the Effects of electrical stimulation and exercise on abdominal musculature, Physical Therapy 65, 683.
5. **Andrianowa, G. G.; Koz, J. M.; Martjonow, V. A. (1974):** Die Anwendung der Elektrostimulation für das Training der Muskelkraft, Leistungssport 4, 138-142.
6. **Angerhöfer, J.; Kanzler, J. (1986):** Elektrotherapie bei muskulärer Inaktivitätsatrophie, Med. u. Sport 26, 147.
7. **Appell, H. J. (1986):** Sceletal muscle atrophy during immobilisation, Int. J. Sports Med. 7, 1-5.
8. **Appell, H. J. (1987):** Muskeltraining durch Elektrostimulation, Der Mediziner, 11-12.
9. **Appell, H. J. (1991):** Zum Einsatz der Elektrostimulation nach Operation des vorderen Kreuzbandes, Phys. Ther. Theor. Prax., 108-111.
10. **Appell, H. J. (1992):** Elektrotherapie zum Kraftaufbau der Skelettmuskulatur. Morphologische und elektrophysiologische Zusammenhänge, in: Wentzensen, A.; Schmelz, A. (Hrsg.)(1992): Elektromyostimulation in der Traumatologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart u. a., 1-6.
11. **Appell, H. J.; Cabric, M. (1987):** Über den Einsatz der Elektromyostimulation zur Muskelkräftigung in Therapie und Rehabilitation, Physikalische Therapie 8, 475-481.

12. **Appell, H. J.; Duesberg, F.; Verdonck, A. (1991):** Besondere Aspekte der funktionellen Begleit- und Nachbehandlung operativ versorgter Kniebandverletzungen: Elektrostimulation, H. Unfallheilkunde 217, 108-111.
13. **Arvidsson, J.; Arvidsson, H.; Eriksson, E.; Jansson, E. (1986):** Prevention of quadriceps wasting after immobilisation: An evaluation of the effect of electrical stimulation, Orthopedics 9, 1519-1528.
14. **Battle, W. H. (1900):** A case after opensection of the knee joint or irreducible traumatic dislocation, Clin. Soc. Lon. Trans. 33, 232-233.
15. **Benedetto, K. P. (1985):** Der Ersatz des vorderen Kreuzbandes mit dem vaskulär gestielten zentralen Drittel des Ligamentum patellae. Teil II - Operationstechnik und Ergebnisse, Unfallheilkunde 88, 189-197.
16. **Blauth, W.; Hassenpflug, J. (1985):** Gedanken zur Kreuzbandrekonstruktion unter besonderer Berücksichtigung von synthetischem Ersatzmaterial, Unfallchirurg 88, 118-125.
17. **Blümel, G. (1992):** Theoretische Positionen und allgemeine Prinzipien der Anwendung und Dimensionierung der EMS - Parameter, in: Wentzensen, A.; Schmelz, A. (Hrsg.) (1992): Elektromyostimulation in der Traumatologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart u. a., 21-26.
18. **BMR GmbH (Hrsg.) :** Gebrauchsanweisung für BMR NeuroTech 2 Modell 233a 2-Kanal Leistungsstimulator (PowerStim), Juli 1996.
19. **Bochdansky, Th. (1994):** Zur Rehabilitation von Kniegelenkverletzungen, Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, Sonderheft, 37-38.
20. **Bonnaire, F.; Berwarth, H.; Müntz, P.; Eichinger, S.; Kuner, E. H. (1995):** Kann das Ergebnis nach Kreuzbandoperationen arthrometrisch erfasst werden? Ein Vergleich der subjektiven Einschätzung, des Lysholm - Scores, der klinischen Stabilitätseinstufung und der Stabilitätsmessung mit dem KT 1000 nach komplexen Kniebandverletzungen, Unfallchirurgie 21(2), 83-91.
21. **Börnert, K.; Dippold, A. (1990):** Untersuchungen am neuromuskulären System Kniegelenk, Beitr. Orthop. Traumatol. 37, 81-85.
22. **Bosch, U.; Kasperczyk, W. J.; Oestern, H. J.; Tscherne, H. (1990):** Die Einheilungsphasen beim autologen hinteren Kreuzbandersatz -

Entscheidungshilfen für die Nachbehandlung. Eine biomechanische und histologische Studie, Unfallchirurg 93, 187-196.

23. **Boutelle, D.; Smith, B.; Malone, T. (1985):** A strength study utilizing the Electro-Stim 180, J. Orthop. Sports Phys. Ther. 7, 50-53.
24. **Bräm, J.; Plaschy, S.; Lutolf, M.; Leutenegger, A. (1994):** Die primäre Kreuzbandnaht - hat die Methode ausgedient? Z. Unfallchir. Versicherungsmed. 87(2), 91-109.
25. **Buhmann, W.-W.; Schleicher, W.; Urbach, D.; Schultz, W. (1998):** Elektromyostimulation und isokinetisches Training in der Rehabilitation nach Operationen des vorderen Kreuzbandes - eine randomisierte, prospektive Studie, Phys. Rehab. Kur Med. 8, 13-16.
26. **Caborn, D. N.; Johnson, B. M. (1993):** The natural history of the anterior cruciate ligament-deficient knee. A review., Clin. Sports. Med. 12(4), 625-36.
27. **Cabric, M.; Appell, H. J. (1987):** Zur Wirkung hochfrequenter EMS auf Muskelkraft und Muskelmasse, Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 38, 15-18.
28. **Cipolla, M.; Scala, A.; Gianni, E.; Puddu, G. (1995):** Different patterns of meniscal tears in acute anterior cruciate ligament (ACL) ruptures and in chronic ACL-deficient knees. Classification, staging and timing of treatment. Knee. Surg. Sports. Traumatol. Arthrosc. 3(3), 130-4.
29. **Cotta, H.; Güßbacher, A. (1986):** Zum Krafttraining in der posttraumatischen und postoperativen Rehabilitation, Z. Krankengymnastik 5, 333-5.
30. **Currier, D. P.; Lehmann, J.; Lightfoot, P. (1979):** Electrical Stimulation in exercise of the quadriceps femoris muscle, Phys. Ther. 59, 1508-1512.
31. **Currier, D. P.; Mann, R. (1983):** Muscular strength development by electrical stimulation with conventional isometric exercises, J. Orthop. Sports Phys. Ther. 5, 318-323.
32. **Dippold, A. (1980):** Die Bedeutung der muskulären Instabilität für den Knorpelschaden am Kniegelenk, Wiss. Z. Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Med. Reihe 29, 69-70.
33. **Dippold, A. (1983):** Behandlung der muskulären Knieinstabilität mit gezielter Elektromechanotherapie, Z. Physiother. 35, 307-316.

34. **Dippold, A. (1992):** Die Rolle der Elektromyostimulation für die muskuläre Stabilisierung des Kniegelenkes, in: Wentzensen, A.; Schmelz, A. (Hrsg.)(1992):Elektromyostimulation in der Traumatologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart u. a., 21-26.
35. **Doench, L. (1992):** Untersuchungen zur Objektivierung und Optimierung der Elektromyostimulation (EMS) , Univ. Göttingen, Dissertation.
36. **Draijer, F.; Lorentzen, T.; Nissen, R.; Havemann, D. (1994):** Die funktionelle Behandlung des operierten Kniegelenkempyems, Unfallchirurg 97(5), 273-277.
37. **Eckhardt, R.; Scharf, H. P.; Puhl, W. (1994):** Die Bedeutung der neuromuskulären Koordination für die sportliche Belastbarkeit des Kniegelenks nach vorderen Kreuzbandverletzungen, Sportverl. Sportschaden, 16-23.
38. **Edel, H. (1988):** Neuromuskuläre Elektrostimulationsverfahren (NMES) - (unter besonderer Berücksichtigung der M. quadriceps femoris - Stimulation). Übersichtsreferat, Z. Physiother. 40, 287-298.
39. **Ehrlich, G.; Schulz, H. (1985):** Isokinetisches Krafttraining und seine Anwendung in der Rehabilitation, Sportther. Theorie und Praxis 1, 8-12.
40. **Enneker, C. (1985):** Kombinierte Plastik des vorderen Kreuzbandes mit gestieltem Periostlappen und Kutisstreifen, Unfallchirurgie 11, 235-237.
41. **Enoka, R. M. (1988):** Muscle strength and its development. New perspectives, Sports. Med. 6, 146-168.
42. **Eriksson, E. (1981):** Rehabilitation of muscle function after sport injury - major problem in sports medicine, Int. J. Sports Med. 2, 1-6.
43. **Eriksson, E. (1988):** Comprehensive knee rehabilitation, Bull Hosp. J. Dis. Orthop. 48, 117-129.
44. **Eriksson, E.; Häggmark, T. (1979):** Comparison of isometric muscle training and electrical stimulation supplementing isometric muscle training in the recovery after major knee ligament surgery. A preliminary report, Am. J. Sports Med. 7, 169-171.
45. **Eriksson, E.; Häggmark, T.; Kiessling, K. H.; Karlsson, J. (1981):** Effect of electrical stimulation on human skeletal muscle, Int. J. Sports Med. 2, 18-22.

46. **Fahey, T. D.; Harvey, M.; v. Schroeder, R.; Fergusson, F. (1985):** Influence of sex-differences and knee joint position on electrical stimulation - modulated strength increases, *Med. Sci. Sports Exerc.* 17, 144-147.
47. **Felder, H. (1994):** Der Einfluss der Elektromyostimulation auf ausgewählte Kraftparameter, *Sportverletz. Sportschaden* 8(3), 122-127.
48. **Fink, C.; Genelin, A.; Benedetto, K. P.; Hoser, C.; Sperner, G. (1994):** Die Behandlung der frischen vorderen Kreuzbandruptur in Abhängigkeit des Alters und des sportlichen Niveaus, *Schweiz. Z. Med. Traumatol.*, 26-29.
49. **Fink, C.; Hoser, C.; Benedetto, K. P. (1994):** Arthroseentwicklung nach Ruptur des vorderen Kreuzbands. Ein Vergleich operativer und konservativer Therapie, *Unfallchirurg* 97, 357-361.
50. **Franke, J.; Ullmann, P.; Schleicher, W. (1989):** Wirksamkeit der Elektromyostimulation nach Operationen am Kapsel- Band- Apparat des Kniegelenks bei Sportlern, *Sportverletz. Sportschaden* 3(2), 62-66.
51. **Freiwald, J.; Starischka, S.; Starker, M.; Rosbach, G. (1994):** Isokinetische und isometrische Funktionsdiagnostik zur Konkretisierung von Therapie- und Trainingsplänen, *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, Sonderheft*, 26-27.
52. **Fremerey, R. W.; Lobenhoffer, P.; Born, I.; Tscherne, H.; Bosch, U. (1998):** Can knee joint proprioception by reconstruction of the anterior cruciate ligament be restored? A prospective longitudinal study, *Unfallchirurg* 101, 697-703.
53. **Frick, H. (1984):** Bandverletzungen des Kniegelenks, 17. Jahrestag der Österreichischen Gesellschaft für Unfallchirurgie vom 1. - 3. 10. 1981 in Salzburg, Kongressbericht, Springer Verlag.
54. **Friden, T.; Zatterstrom, R.; Lindstrand, A.; Moritz, U. (1990):** Disability in anterior cruciate ligament insufficiency. An analysis of 19 untreated patients, *Acta. Orthop. Scand.* 61(2), 131-135.
55. **Friederich, N. F.; Müller, W.; O'Brien, W. R. (1992):** Klinische Anwendung biomechanischer und funktionell anatomischer Daten am Kniegelenk, *Orthopäde* 21(1), 41-50.

56. **Friederich, N. F.; O'Brien, W. R. (1993):** Gonarthrose nach Verletzung des vorderen Kreuzbandes: eine Multizenterlangzeitstudie, Z. Unfallchir. Vers. Med. 86/2, 81-89.
57. **Froböse, I.; Duesberg, A.; Verdonck, C. (1992):** Muskuläre Adaptationen eines submaximalen isokinetischen Trainings nach vorderer Kreuzbandruptur, Orth. Prax. 5, 341-345.
58. **Gaerisch, F.; Hochheim, B. (1999):** Stellenwert der Kernspintomographie in der Diagnostik des muskulo- skeletalen Systems, Ärzteblatt Thüringen 11, 616-621.
59. **Garbe, S. (1991):** Die doppelläufige Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes mit dem Fascia- lata- Streifen, Unfallchirurg 94, 346-350.
60. **Garrett, T. R.; Laughman, R. K.; Joudas, J. W. (1980):** Strengthening brought about by a new Canadian muscle stimulator, a preliminary study, Phys. Ther. 60, 616.
61. **Gauffin, H.; Petterson, G.; Tegner, Y.; Tropp, H. (1990):** Function testing in patients with old Rupture of the anterior cruciate ligament, Int. J. Sports Med. 11, 73-77.
62. **Genelin, F.; Trost, A.; Primavesi, C.; Knoll, P. (1993):** Late results following proximal reinsertion of isolated ruptured ACL ligaments. Knee. Surg. Sports. Traumatol. Arthrosc. 1(1), 17-19.
63. **Gerich, T.G.; Lattermann, C.; Bosch, U.; Lobenhoffer, H.P.; Tscherne, H. (1998):** Endoskopische versus limitiert offene Technik zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes, 4-Jahres Ergebnisse einer prospektiven Studie, Unfallchirurg 101, 551-556.
64. **Gibson, J. N. A.; Morisson, W. L.; Scrimgeour, C. M.; Smith, K.; Stoward, P. J.; Rennie, M. J. (1989):** Effects of therapeutic percutaneous electrical stimulation of atrophic human quadriceps on muscle composition, protein synthesis and contractile properties, Eur. Clin. Invest. 19, 206-212.
65. **Gibson, J. N. A.; Smith, K.; Rennie, M. J. (1988):** Prevention of disuse muscle atrophy by means of electrical stimulation: Maintenance of protein synthesis, Lancet 2, 767-770.

66. **Gobelet, C.; Meier, J. L.; Leyvraz, P. F.; Saudan, Y. (1984):** Elektromyostimulation en rééducation: Données dynamométriques et histologiques, Schweiz. Z. Sportmed. 32, 60-62.
67. **Goertzen, M.; Schulitz, K. P. (1993):** Vergleich der extra- und intraartikulären Stabilisation gegenüber einer isolierten arthroskopisch durchgeführten Semitendinosusplastik nach vorderer Kreuzbandruptur, Sportverletz. Sportschaden 7, 7-12.
68. **Graf, B. K.; Cook, D. A.; De Smet, A. A.; Keene, J. S. (1993):** „Bone bruises“ on magnetic resonance imaging evaluation of anterior cruciate ligament injuries, Am. J. Sports Med. 21(2), 220-223.
69. **Graham, G. P.; Johnson, S.; Dent, C. M.; Fairclough, J. A. (1991):** Comparison of clinical tests and the KT1000 in the diagnosis of anterior cruciate ligament rupture, Br. J. Sports Med. 25(2), 96-97.
70. **Grontvedt, T.; Engelbretsen, L.; Strand, T.; Benum, P.; Molster, A.; Fast-ing, O. (1995):** A prospektive, randomized Study comparing three surgical procedures for treatment of acute anterior cruciate ligament tears: 5 - year results. Presentet at the American Academie of Orthopaedic Surgeons Annual Meeting, Orlando, Feb. 1995.
71. **Gruber, G.; Harland, U.; Gruber, G. M. (1992):** Sonographische Darstellung des Lachmann - Tests bei Läsionen des vorderen Kreuzbandes, Sportverletz. Sportschaden 6, 123-127.
72. **Grüber, J.; Walter, D.; Liebe, W. (1986):** Der vordere Kreuzbandreflex (LCA-Reflex), Unfallchirurg 89, 551-554.
73. **Güßbacher, A. (1988):** Das Muskelaufbautraining zur aktiven Gelenkstabilisation nach Kniegelenksverletzungen und -operationen, Orthop. Praxis 10, 626-629.
74. **Haller, W., Flock, K. (1987):** Neue Wege in der Rehabilitation nach Kniegelenksverletzungen durch isokinetische Trainingsgeräte, Prakt. Sport - traumat. Sportmedizin 3, 46-48.
75. **Haller, W.; Gradinger, R.; Flock, K. (1988):** Cybex II-kontrollierte 3-Phasen-Rehabilitation nach vorderer Kreuzbandplastik des Kniegelenks, Orthop. Praxis10, 630-632.
76. **Harilainen, A.; Alaranta, H.; Sandelin, J.; Vanhanen, I. (1995):** Good muscle performance does not compensate instability symptoms in chronic anterior

- cruciate ligament deficiency. *Knee. Surg. Sports. Traumatol. Arthrosc.* 3(3), 135-7.
77. **Harter, R. A.; Ostering, L. R.; Singer, K. M.; James, S. L.; Larson, R. L.; Jones, D. C. (1988):** Long-term evaluation of knee stability and funktion following surgical reconstruction for anterior cruciate ligament insufficiency, *A. J. Sports Med.* 16, 434-443.
78. **Hartsell, H. D. (1986):** Electrical muscle stimulation and isometric exercise effects on selected quadriceps parameters, *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 8, 203-209.
79. **Haupt, P. R.; Duspiva, W. (1987):** Krankengymnastische Behandlung bei Kniebandverletzungen, *Z. Krankengymnastik* 39, 626-633.
80. **Hehl, G.; Hoellen, I.; Wissmeyer, T.; Ziegler, U. (1995):** Isokinetisches Muskeltraining mit hohen Bewegungsgeschwindigkeiten in der Rehabilitation nach operativer Versorgung frischer vorderer Kreuzbandrupturen, *Z. Orthop.* 133(4), 306-310.
81. **Hemp, T.; Skirl, H. (1987):** Der Einfluss von Krafttraining und Elektromyostimulation auf passiv-mechanische Eigenschaften der Muskulatur, *Med. Sport* 27, 78-79.
82. **Hempfling, H.; Burri, C. (1991):** Diagnostische und operative Arthroskopie aller Gelenke, Verlag Hans Huber, Bern u. a..
83. **Hertel, P. (1980):** Zur funktionellen Anatomie und Pathophysiologie des Kniebandapparates, *Unfallheilkunde* 83, 381-388.
84. **Hipp, E.; Gradinger, R.; Aigner, R.; Biehl, Th.; Karpf, P. M. (1986):** Unsere Grundsätze zur Versorgung der vorderen Kreuzbandruptur, *Praktische Sport-Traumatologie und Sportmedizin*, 17-22.
85. **Hoffmann, F.; Friebel, H.; Schiller, M. (1998):** The semitendinosus tendon as replacement for the anterior cruciate ligament, *Zentralbl. Chir.* 123, 994-1001.
86. **Höltke, A.; Verdonck, A.; Euler, H. (1997):** Isokinetische Testverfahren und Testparameter und ihre Korrelationen zur Schwimmleistung bei Leistungsschwimmern der nationalen Spitzenklasse, Internetseiten des Krankenhauses für Sportverletzte Hellersen, Abteilung Sportmedizin,

[www://home.t_online.de/home/sportkrankenhaus_hellersen/ergebnis.htm#2.4](http://www.t_online.de/home/sportkrankenhaus_hellersen/ergebnis.htm#2.4),
05.06.1999.

87. **Holzach, P.; Hefti, F.; Gächter, A. (1986):** Die vordere Kreuzbandplastik mit freiem Transplantat aus dem Ligamentum patellae, Unfallchirurg 89, 176-182.
88. **Hörster, G.; Kedziora, O. (1993):** Kraftverlust und -regeneration der Kniestreckmuskulatur nach Operationen am Kniebandapparat. EMG- Untersuchungen zum Einfluss von Verletzungsmuster, Operationsverfahren und Nachbehandlung unter besonderer Berücksichtigung der EMS, Aktuelle Traumatol. 23(5), 244-254.
89. **Houston, M. E. (1983):** Effects of elektrical stimulation on skeletal muscle of injured and healthy athlets, Can. J. Sport Sci. 8, 49-51.
90. **Jakob, R. P.; Noesberger, B. (1976):** Das Pivot-shift Phänomen, ein neues Zeichen der Ruptur des vorderen Kreuzbandes und die spezifische laterale Rekonstruktion, Helv. Chir. Acta 43, 451-456.
91. **Jerosch, J.; Pfaff, G.; Thorwesten, L.; Schoppe, R. (1998):** Effects of a proprioceptive training program on sensorimotor capacities of the lower extremity in patients with anterior cruciate ligament instability, Sportverletz. Sportschaden12, 121-130.
92. **Johnson, R.J.; Beynnon, B. D.; Nichols, C. E.; Renstrom, A. (1992):** The Treatment of the Anterior Cruciate Ligament, The jurnal of bone and joint surgery 1,140-151.
93. **Jozsa, L.; Reffy, A.; Balint, J. B.; Demel, S.; Szilagyi, I. (1982):** Veränderungen der menschlichen Skelettmuskulatur nach Sehnenverletzungen, Med. u. Sport, 311-313.
94. **Kaalund S.; Sinkjaer, T.; Arendt - Nielsen, L. (1990):** Altered timing of hamstring muscle action in anterior cruciate ligament deficient patients, Am. J. Sports Med. 18, 245-48.
95. **Kellermann, Th.; Krüger-Franke, M.; Kirchhübel, H.; Rosemeyer, B. (1995):** Zwei- bis Fünf- Jahres- Ergebnisse nach arthroskopisch assistierter vorderer Kreuzbandplastik mit dem mittleren Patellarsehnedrittel, Sportorthopädie- Sporttraumatologie, 91-98.
96. **Kern, H. (1992):** Möglichkeiten der modernen Physikalischen Medizin: Die Elektrostimulation der Muskulatur, in: Wentzensen,A.; Schmelz, A. (Hrsg.)

(1992): Elektromyostimulation in der Traumatologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart u. a., 37-52.

97. **Kidd, G. L. (1988):** Electrical Stimulation for disuse muscle atrophy, *Lancet* 2, 1025.
98. **Kiefer, H.; Richter, M.; Hehl, G. (1998):** Augmentation techniques: are they out?, *Zentralbl. Chir.* 123,1002-1013.
99. **Kleditzsch, J.; Lange, A. (1979):** Die muskelstimulierende Wirkung von Nieder- und Mittelfrequenzströmen, isometrischen Spannungs- und aktiven Bewegungsübungen nach Meniskektomie, *Orthop. und Traumatologie* 26, 380-384.
100. **Kleipool, A. E.; van Loon, T.; Marti, R. K. (1994):** Pain after use of the central third of the patellar tendon for cruciate ligament reconstruction. 33 patients followed 2-3 years, *Acta. Orthop. Scand.* 65(1), 62-66.
101. **Klinger, D.; Rosemeyer, B. (1990):** Spätergebnisse nach muskulärer Rehabilitation nach Kapselbandläsionen am Kniegelenk, *Z. Krankengymnastik* 42, 766-769.
102. **Klinger, D.; Rosemeyer, B. (1991):** Stabilität nach Kapselbandoperationen am Kniegelenk, *Sportverletz. Sportschaden* 5(2), 90-95.
103. **Kock, H. J.; Stürmer, K. M.; Letsch, R. (1991):** Biologische Gewebereaktion nach alloplastischem Ersatz des vorderen Kreuzbandes durch PET-Band (Trevira hochfest), *Unfallchirurg* 97, 20-25.
104. **König, D. P.; Rütt, J.; Kumm, D.; Breidenbach, E. (1998):** Diagnostik der vorderen Knieinstabilität, Vergleich zwischen dem Lachmann - Test, KT-1000-Arthrometer und sonographischem Lachmann - Test, *Unfallchirurg*, 209-213.
105. **Koz, J. M. (1971):** Das Muskelkrafttraining mit der Methode der Elektrostimulation, Mitteilung Nr. 1, Theoretische Voraussetzungen (russ.), *Ther. Prakt. Fiz. Kult.* 34, 64-66. & Mitteilung Nr. 2, Das Training mit der Methode der tetanischen Reizung der Muskeln durch Rechteckimpulse (russ.), *Ther. Prakt. Fiz. Kult.* 34, 66-73.
106. **Kramer, J. F.; Mendryk, S. W. (1982):** Electrical Stimulation as a strength improvement technique. A review, *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 4, 91-98.

107. **Kresse, H. (1986):** Ergebnisse der Elektromyostimulation in der sportmedizinischen Rehabilitation, Med. Sport 26, 238-240.
108. **Krüger-Franke, M.; Buchner, M.; Rosemeyer, B. (1997):** Mittelfristige Ergebnisse nach operativ versorgter Reruptur des vorderen Kreuzbands, Unfallchirurg 100, 274-279.
109. **Kubiak, R. J.; Whitman, K. M.; Johnston, R. M. (1987):** Changes in quadriceps femoris muscle strength using isometric exercise versus electrical stimulation, J. Orthop. Sports Phys. Ther. 8, 537-541.
110. **Kühne, J. H.; Jansson, V.; Zimmer, M.; Branner, S. (1992):** Kombinierte Verletzung von vorderem Kreuzband und medialem Seitenband des Kniegelenks - Zwei- bis Sechs- Jahres- Ergebnisse der operativen Behandlung, Unfallchirurgie 18(5), 295-303.
111. **Kühne, J. H.; Refior, H. J. (1993):** Die primäre Naht des vorderen Kreuzbandes. Eine kritische Analyse, Unfallchirurgie 96, 451-456.
112. **Küllmer, K.; Letsch, R.; Schmit-Neuerburg, K. P.; Turowski, B. (1996):** Arthroseprogression nach alloplastischer Kreuzbandoperation - Welche Faktoren spielen eine Rolle? Unfallchirurgie 22(3), 130-138.
113. **Kunz, M. (1990):** Das Muskelaufbautraining nach Knieverletzungen in der frühen Phase der Rehabilitation, Krankengymnastik 42, 761-765.
114. **Küsswetter, W.; Sell, S. (1991):** Die kontinuierliche passive Mobilisation in der Nachbehandlung von Kniegelenkendoprothesen, Orthopäde 20(3), 216-220.
115. **Kuster, M.; Blatter, G.; Hauswirth, L.; Neuer, W.; Wood, G. A. (1995):** Das vordere Kreuzband, eine wichtige Struktur des Kniegelenks, Schweiz. Rundsch. Med. Prax. 84(5), 134-139.
116. **Kwasny, O.; Kdolsky, R.; Schabus, R.; Wagner, M. (1991):** Kontrollarthroskopie nach alloplastisch augmentierter vorderer Kreuzbandrekonstruktion, Aktuelle. Traumatol. 21(5), 209-214.
117. **Lajtai, G.; Humer, K.; Aitzetmüller, G.; Unger, F.; Ramadani, F.; Orthner, E. (1999):** Resultate nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion. Verwendung von resorbierbaren Interferenzschrauben, Unfallchirurg 102, 35-42.

118. **Lange, M.; Hipp, E. (1986):** Lehrbuch der Orthopädie und Traumatologie, Enke Verlag, Stuttgart.
119. **Laughman, R. K.; Youdas, J. W.; Garrett, T. R.; Chao, E. Y. S. (1983):** Strength changes in the normal quadriceps femoris muscle as a result of electrical stimulation, Phys. Ther. 63, 494-500.
120. **Letsch, R.; Sturmer, K. M.; Kock, H. J.; Wissing, H.; Schmit-Neuerburg, K. P. (1994):** Der Ersatz des vorderen Kreuzbandes durch ein PET-Band (Tevira hochfest) als „Salvage Procedure“ bei chronisch instabilen voroperierten Kniegelenken, Unfallchirurgie 20(6), 293-301.
121. **Li, R.C.; Wu, Y.; Maffulli, N.; Chan, K.M.; Chan, J.L. (1996):** Eccentric and concentric isokinetic knee flexion and extension: a reliability study using the Cybex 6000 dynamometer, Br. J. Sports Med. 30, 156-160.
122. **Lippert, H. (1990):** Lehrbuch der Anatomie, Urban & Schwarzenberg, München u. a..
123. **Lobenhoffer, P. (1998):** Golden Standart: Patellarsehnenplastik - Technik und postoperatives Komplikationsmanagement, Zentralbl. Chir. 123, 981-993.
124. **Ludolph, E.; Hierholzer, G. (1980):** Anatomie und Biomechanik des Kapsel-Bandapparates am Kniegelenk, Unfallchirurgie 6, 79-85.
125. **Lúthi, J.; Gerber, C. (1989):** Die verletzte und die immobilisierte Muskelzelle: Ultrastrukturelle Betrachtungen, Sportverletzung Sportschaden 3, 58-61.
126. **Lysholm, J.; Gillquist, J. (1982):** Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale, Am. J. Sports Med. 10, 150-154.
127. **Magyarosy, I.; Schnizer, W.; (1990):** Muskeltraining durch Elektrostimulation, Fortschr. Med. 108, 121-124.
128. **Mathis, C. E. (1998):** „Bone bruises“ of the knee: a review, Iowa Orthop. J. 18, 112-117.
129. **Maughan, R. J. (1984):** Relationships between muscle strength and muscle cross-sectional area. Implications for training, Sports. Med. 1, 263-269.
130. **Mayer, F.; Horstmann, T.; Küsswetter, W.; Dickhut, H. H. (1994):** Isokinetik - eine Standortbestimmung, Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 272-285.

131. **McMiken, D. F.; Tood-Smith, M.; Thompson, C. (1983):** Strengthening of human quadriceps muscle by cutaneous electrical stimulation, *Scand J. Rehab. Med.* 15, 25-28.
132. **Menke, W.; Schneider, T.; Schmitz, B.; Michiels, I. (1990):** Nachuntersuchungsergebnisse bei unbehandelter vorderer Kreuzbandruptur, *Sportverl. Sportschad.* 4, 169-174.
133. **Miller, M. D.; Osborne, J. R.; Gordon, W. T.; Hinkin, D. T.; Brinker, M. R. (1998):** The natural history of bone bruises. A prospective study of magnetic resonance imaging-detected trabecular microfractures in patients with isolated medial collateral ligament injuries, *Am. J. Sports Med.* 26(1), 15-19.
134. **Mitsou, A.; Vallianatos, P.; Piskopakis, N.; Maheras, S. (1990):** Anterior cruciate ligament reconstruction by over-the-top repair combined with popliteus tendon plasty, *J. Bone a. Joint Surg. Br.* 72(3), 398-404.
135. **Mockwitz, J.; Contzen, H. (1980):** Ergebnisse operativ behandelter Kapsel-Band-Verletzungen am Kniegelenk, *Unfallchirurgie* 6, 143-148.
136. **Morrissey, M. C. (1989):** Reflex inhibition of thigh muscles in knee injury. Causes and Treatment, *Sports Med* 7, 263-276.
137. **Müller, H. W.; Simons, M.; Schilling, H. (1988):** Die Behandlung der Kreuzbandläsion nach Knie trauma, *Unfallchirurgie* 14, 265-275.
138. **Müller, W. (1986):** Konservative oder operative Therapie frischer und veralteter Bandläsionen am Kniegelenk, *Orthop. Prax.* 4, 305-311.
139. **Müller, W.-D. (1992):** Elektromyostimulation in der Rehabilitation nach Kniegelenkendoprothetik, Universität Göttingen, Dissertation.
140. **Müllner, T.; Alacamlioglu, Y.; Nikolic, A.; Schabus, R. (1998):** No benefit of bracing on the early outcome after anterior cruciate ligament reconstruction, *Knee. Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 6, 88-92.
141. **Natri, A.; Jarvinen, M.; Kannus, P. (1996):** Primary repair plus intra-articular iliotibial band augmentation in the treatment of an acute anterior cruciate ligament rupture. A follow-up study of 70 patients, *Arch. Orthop. Trauma. Surg.* 115(1), 22-27.

142. **Neusel, E.; Niethard, F. U. (1990):** „Continuous passive motion“ in der Behandlung nach Kniegelenkoperationen, Zeitschrift für Physikalische Therapie, Sonderdruck 42. Jahrgang, 11-15.
143. **Newberg, A. H.; Wetzner, S. M. (1994):** Bone bruises: their patterns and significance, Semin. Ultrasound CT MR, 15 (5), 396-409.
144. **Niethard, Pfeil (1992):** Orthopädie, Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart.
145. **Noack, W.; Scharf, H.-P. (1987):** Aktueller Stand in der Therapie der vorderen Kreuzbandverletzung, Sportverletzung Sportschaden 1, 13-19.
146. **Noack, W.; Schleicher, G. (1984):** Spätschäden nach Knieverletzungen - Indikation, Technik und Ergebnisse der vorderen Kreuzbandplastiken. In: Jungbluth, V. H.; Mommsen, U. (Hrsg.)(1984): Plastische und wiederherstellende Maßnahmen bei Unfallverletzungen, Springer, Berlin-Heidelberg, 177-183.
147. **Noyes, F. R.; Barber-Westin, S. D.; Roberts, C. S. (1994):** Use of allografts after failed treatment of rupture of the anterior cruciate ligament, J. Bone a. Joint Surg. Am. 76(7), 1019-1031.
148. **Oberbillig, C., Kirschner, P. (1989):** Postoperative kontinuierliche Bewegung nach Augmentation von vorderen Kreuzbandrupturen mit Polydioxanonbändern. Frühergebnisse einer prospektiven Studie, Unfallchirurg, Sonderdruck 15, Nr. 3, 145-151.
149. **Passl, R.; Boszotta, H.; Ottenberg, G.; Sauer, G. (1986):** Langzeitergebnisse verschiedener Operationsmethoden bei frischen und chronischen Kreuzbandverletzungen, Unfallchirurg 89, 473-478.
150. **Pässler, H. H.; Shelbourne, K. D. (1993):** Biologische, biomechanische und klinische Konzepte zur Nachbehandlung nach Bandeingriffen am Knie, Orthopädie 22, 421-435.
151. **Pässler, J. M.; Schippinger, G.; Schweighofer, F.; Fellingner, M.; Seibert, F. J. (1995):** Komplikationen bei 283 Kreuzbandersatzoperationen mit freiem Patellarsehnentransplantat, Unfallchirurgie 21(5), 240-246.
152. **Pelekh, O. L. (1998):** The effect of electromyostimulation on the clinico-electroencephalographic indices in the rehabilitation of patients with spastic forms of infantile cerebral palsy, Lik. Sprava, 150-152.

153. **Peters, G.; Wirth, C.J.; Kohn, D. (1997):** Vergleich von Scores und Bewertungsschemata bei Kniebandinstabilitäten, Orthop. Ihre Grenzgeb. 135, 63-69.
154. **Petersen, J. (1990):** Rehabilitation und Dokumentation nach Kreuzbandverletzungen, Z. Krankengymnastik 1, 15-24.
155. **Pfeifer, K. (1996):** Bewegungsverhalten und neuromuskuläre Aktivierung nach Kreuzbandrekonstruktion, LinguaMed Verlags-GmbH, Neu-Isenburg.
156. **Plaschke, M. (1997):** Untersuchungen zur Wirksamkeit eines dynamischen Test- und Trainingsverfahrens - FASTEX, unveröffentlichte Diplomarbeit.
157. **Pollack, H. W. (1984):** Zur konservativen Behandlung des kontrakten Spreizfußes, Orthop. Praxis 7, 531-533. .
158. **Ramcharan, J. F.; Wyke, B. D. (1972):** Articular reflexes at the knee joint: an electromyographic study of the articular nerves in the knee joint, Am. J. Physiol. 223, 1276-1280.
159. **Riel, K.-A.; Ulm, M.; Bernett, P. (1991):** Die Bedeutung der synthetischen (Kennedy-LAD) Augmentation beim vorderen Kreuzbandersatz, Unfallchirurg 94, 351-354.
160. **Risberg, M. A.; Holm, I.; Stehen, H.; Eriksson, J.; Ekeland, A. (1999):** The effect of knee bracing after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective, randomized study with two years`follow-up, Am. J. Sports Med. 27, 76-83.
161. **Romero, J. A.; Sanford, T. L.; Schroeder, R. V.; Fahey, T. D. (1982):** The effects of electrical stimulation of normal quadriceps on strength and girth, Med. Sci. Sports Exerc. 14, 194-197.
162. **Rupp, S.; Hopf, T.; Gleit, M.; Hess, T. (1994):** Biomechanische Grundlagen der Nachbehandlung der Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes, Unfallchirurgie 20(6), 303-310.
163. **Scharf, H.-P.; Noack, W. (1987):**Die Bedeutung isokinetischer Kraftmessung in Sport und Rehabilitation, Sportverletzung Sportschaden 3, 142-149.
164. **Schleicher, W.; Schultz, W.; Müller, K.-D. (1992):** Möglichkeiten zur Objektivierung der Anwendung der Elektromyostimulation, in: Wentzensen,A.;

Schmelz, A. (Hrsg.) (1992): Elektromyostimulation in der Traumatologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart u. a., 67-70.

165. **Schmalz, T.; Blumentritt, S.; Wagner, R.; Gokeler, A. (1998):** Ganganalytische Verlaufsuntersuchung patellarsehnenversorgter Rupturen des vorderen Kreuzbandes, Phys. Rehab. Kur Med. 8, 1-8.
166. **Schmalz, T.; Blumentritt, S.; Wagner, R.; Junge, R. (1998):** Biomechanisch-ganganalytische Bewertung verschiedener Behandlungsmethoden nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes, Sportverletz. Sportschaden 12, 131-137.
167. **Schmid, A.; Schmid, F. (1988):** Objektivierbarkeit des Lachmann - Tests durch Arthro-Sonographie, Unfallchirurg 91, 70-76.
168. **Schmid, F. (1996):** Die Verletzungen des medialen Seitenbandes und des vorderen Kreuzbandes am Kniegelenk und ihre operativ-funktionelle Behandlung nach Lemaire, Unfallchirurgie 22(3), 124-129.
169. **Schmidt, M.; Moschinski, D.; Herfeld, R.; Nguyen, B. (1993):** Rehabilitation bei frischen, operativ versorgten anteromedialen Knieinstabilitäten, Unfallchirurgie 19(4), 221-226.
170. **Schöllkopf, A. (1996):** Frühfunktionelle postoperative Rehabilitation nach vorderen Kreuzbandrupturen unter besonderer Berücksichtigung offener isokinetischer Trainingsgeräte, Ludwig-Maximilians- Universität München, Dissertation.
171. **Schöttle, H.; Meenen, N. M.; Kilgus, O. (1990):** Bandverstärkung mit resorbierbarer PDS-Kordel und früh-funktionelle Nachbehandlung. Ergebnisse einer Nachuntersuchung operativ versorgter Kreuzbandverletzungen, Unfallchirurg 93 (1), 35-39.
172. **Seiler, H.; Frank, H. R. (1993):** Naht am vorderen Kreuzband - was ist die Methode tatsächlich wert? Unfallchirurgie 96, 443-450.
173. **Selkowitz, D. M. (1985):** Improvement in isometric strenght of the quadriceps femoris muscle after training with electrical stimulation, Phys. Ther. 65, 186-196.
174. **Siebert, W. (1992):** Klinische Erfahrungen mit der Elektrostimulation der Muskulatur nach Kapselbandverletzungen am Kniegelenk, in: Wentzensen,A.;

Schmelz, A. (Hrsg.) (1992): Elektromyostimulation in der Traumatologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart u. a., 54-61.

175. **Snyder-Mackler, L.; Delitto, A.; Bailey, S. L.; Stralka, S. W. (1995):** Strength of the quadriceps femoris muscle and functional recovery after reconstruction of the anterior cruciate ligament. A prospective, randomized clinical trial of electrical stimulation, *J. Bone a. Joint Surg. Am.* 77(8), 1166-1173.
176. **Snyder-Mackler, L.; De-Luca, P. F.; Williams, P. R.; Eastlack, M. E.; Bartolozzi, A. R. (1994):** Reflex inhibition of the quadriceps femoris muscle after injury or reconstruction of the anterior cruciate ligament, *J. Bone a. Joint Surg. Am.* 76(4), 555-560.
177. **Sprenger, F. B.; Meier, W.; Urfer, A. (1987):** Vordere Kreuzbandplastik. Vergleichende Resultate verschiedener Operationstechniken, *Unfallchirurg* 90, 1-5.
178. **Steiger, E.; Mona, D.; Segantini, P. (1987):** Beitrag zur Diagnostik der frischen, vorderen Kreuzbandruptur am Kniegelenk, *Helv. Chir. Acta* 54(4), 463-466.
179. **Stief, C. G.; Weller, E.; Noack, T.; Djamilian, M. H.; Meschi, M.; Truss, M.; Jonas, U. (1996):** Functional electromyostimulation of the penile corpus cavernosum (FEMCC). Initial results of a new therapeutic option of erectile dysfunction, *Urologe A* 35, 321-325.
180. **Stöckle, U.; Hoffmann, R.; Schwedtke, J.; Lubrich, J.; Vogl, T.; Südkamp, N. P. (1997):** Wertigkeit der MRT in der Beurteilung des Kreuzbandersatzes, *Unfallchirurg* 100, 212-218.
181. **Strobel, M., Eder, K.; Eichhorn, J. (1997):** Grundlagen zur Nachbehandlung nach VKB- Rekonstruktion, Springer Verlag, *Arthroskopie* 10, 261-266.
182. **Tegner, Y.; Lysholm, J. (1985):** Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries, *Clin. Orthop.* 196, 43-49.
183. **Thung, G. A., Davis, L. M.; Wiggins, M. E.; Fadale, P. D. (1993):** Tears of the anterior cruciate ligament: primary and secondary signs at MR imaging, *Radiology* 188(3), 661-667.
184. **Tibone, J. E.; Antich, T. J.; Perry, J.; Moynes, D. (1988):** Functional Analysis of untreated and reconstructet posterior cruciate ligament injuries, *Am. J. Sports Med.* 16, 217-223.

185. **Torg, J. S.; Conrad, W.; Kalen, V. (1976):** Clinical Diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete, *Am. J. Sports Med.* 4, 84-93.
186. **Tosch, U.; Hertel, P.; Bernard, M.; Lais, E.; Felix, R. (1993):** Gadolinium-DTPA gestützte MRT zur Beurteilung des Einheilens von autologen Ligamentum-patellae-Transplantaten als vordere Kreuzbandersatzplastik, *Radiologe* 33(1), 40-45.
187. **Tosch, U.; Schauwecker, W.; Dreithaler, B.; Felix, R. (1992):** Vordere Kreuzbandruptur: MRT versus Arthroskopie, *Aktuelle Radiol.* 2(3), 131-135.
188. **Ullmann, P.; Viol, M.; Schleicher, W. (1989):** Mitteilung zur Objektivierung der reaktiven Wirksamkeit mittelfrequenter Elektromyostimulation mit Hilfe muskelmechanischer Diagnostik (Myomechanographie), *Beitr. Orthop. Traumatol.* 36(3), 91-96.
189. **Ullmann, P. (1987):** Einsatz muskelfunktionsdiagnostischer Verfahren zur Objektivierung morphofunktioneller Seitendifferenzen am M. vastus medialis in der Diagnostik und postoperativen Rehabilitation von Kniebinnenschäden, Medizinische Akademie Erfurt, Dissertation.
190. **Ullmann, P. (1992):** Der Einsatz des Kleinstimulators EMS - Mini in der Rehabilitation nach Sportverletzungen am Kniegelenk, in: Wentzensen, A.; Schmelz, A. (Hrsg.) (1992): *Elektromyostimulation in der Traumatologie*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart u. a., 62-66.
191. **Ullmann, P.; Viol, M.; Schleicher, W. (1988):** Mitteilung zur Objektivierung morphofunktioneller Seitendifferenzen der Muskulatur am Kniestreckapparat bei Kniebinnenschäden, *Beitr. Orthop. Traumatol.* 35, 268-275.
192. **Uribe, J. W.; Hechtman, K. S.; Zvijac, J. E.; Tjin-A-Tsoi, E. W. (1996):** Revision anterior cruciate ligament surgery: experience from Miami, *Clin. Orthop.* 325, 91-99.
193. **Van Lent, M. E. T.; Drost, M. R.; v. d. Wildenberg, F. A. J. M (1994):** EMG profiles of ACL-deficient patients during walking: The influence of mild fatigue, *Int. J. Sports Med.* 15, 508-514.
194. **Viol, M. (1982):** Myomechanographie - Registrierung passiv - mechanischer Eigenschaften der Muskulatur, *Medizin und Sport* (22), 332-334.
195. **Violi, V.; Roncoroni, L.; Boselli, A. S.; De Cesare, C.; Livrini, M.; Peracchia, A. (1996):** Continent perineal colostomy by electrostimulated gracil-

plasty in abdominoperineal resection. A preliminary report, Acta biomed. Ateneo Parmense 67, 131-142.

196. **Vogel, U. (1987):** Fortschritte in der Kreuzbandchirurgie des Kniegelenks, Helv. Chir. Acta 54, 467-470.
197. **Wechsler, W. (1965):** Veränderungen an der Skelettmuskelfaser bei neurogener Inaktivitätsatrophie und Hungeratrophie im elektronenmikroskopischen Bild, Zbl. Path., 77-78.
198. **Wehrlich, T.; Brand, H.; Echtermeyer, V.; Pöhlmann, J. (1993):** Knie Arthrometer KT 1000: Stellenwert der instrumentellen Messung bei der Diagnose einer komplexen vorderen Knieinstabilität, Aktuelle Traumatol. 23, 43-49.
199. **Weiler, A.; Hoffmann, R.F.; Südkamp, N.P.; Siepe, C.J.; Haas, N.P. (1999):** Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. Biomechanische Studien zur Patellar- und Semitendinosus- Sehnen Fixation mit der Poly(D,L-lactide) Interferenzschraube, Unfallchirurg 102, 115-123.
200. **Weise, K.; Weller, S. (Hrsg.) (1991):** Kapsel- Band- Verletzungen des Kniegelenks - postoperative Begleit- und Nachbehandlung, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg.
201. **Wentzensen, A.; Hochstein, P. (1998):** Versorgung der VKB- Ruptur: Indikation, Verfahrenswahl, Zeitpunkt, Begleit- und Nachbehandlung, Zentralbl. Chir. 123, 970-980.
202. **Wentzensen, A.; Schmelz, A. (Hrsg.) (1992):** Elektromyostimulation in der Traumatologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart u. a..
203. **Wiethölter, H. (1992):** Möglichkeiten der Elektrostimulation nach Verletzungen aus neurologischer Sicht, in: Wentzensen, A.; Schmelz, A. (Hrsg.) (1992): Elektromyostimulation in der Traumatologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart u. a., 8-12.
204. **Wigerstad-Lossing, I.; Grimby, G. (1988):** Effects of electrical muscle stimulation combined with voluntary contractions after knee ligament surgery, Medicine and Science in Sports and exercise 20, 93-98.
205. **Wirbitzky, J. (1990):** Elektrische Stimulation der Paravertebralmuskulatur bei chronischen Rücken- und Kreuzschmerzen, Kurpark-Klinik Bad Schussenried, Vortrag bei der International Conference of Orthopäedics and Traumatology am 15. 03. 1990, Hurghada.

206. **Wirth, C. J.; Artmann, M.; Jäger, M.; Refior, H. J. (1974):** Der plastische Ersatz veralteter vorderer Kreuzbandrupturen nach Brückner und seine Ergebnisse, Arch. Orthop. Unfallchir. 78, 362-373.
207. **Wittek, A. (1935):** Kreuzbandersatz aus dem Ligamentum patellae, Schweiz. Med. Wschr. 65, 103.
208. **Wu, Y.; Li, R.C.; Maffulli, N.; Chan, K.M.; Chan, J.L. (1997):** Relationship between isokinetic concentric and eccentric contraction modes in the knee flexor and extensor muscle groups, J. Orthop. Sports Phys. Ther. 26, 143-149.
209. **Wülker, N.; Kohn, D.; Siebert, W. E.; Wirth, C. J. (1991):** Die Bedeutung des Aktivitäts-Scores bei der Bewertung von Kniebandrekonstruktionen, Sportverletz. Sportschaden 5(3), 130-134.
210. **Yamato, M.; Yamagishi, T.; Kobayashi, T. (1993):** MR imaging of bone bruise associated with ACL tear, Nippon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi 53(1), 23-27.

Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Eigenes Nachbehandlungsschema	98
Anhang 2: Fragebogen für Patienten	100
Anhang 3: Fragebogenaktion per Post	102
Anhang 4: Zusammenhang zwischen Stimulationszeit und Cybex- Krafttest	105
Anhang 5: Zusammenhang zwischen Lysholm - Score und Cybex - Test.....	105
Anhang 6: Cybex - Test, Messwerte	106
Anhang 7: Oberschenkelumfang - Messwerte	110
Anhang 8: Fastex - Test, Messwerte	112

Anhang 1: Eigenes Nachbehandlungsschema**Belastungsaufbau nach vorderer Kreuzbandplastik im REHAZENTRUM AM KREUZ Erfurt - Merkblatt für Patienten****ZEITRAUM REHABILITATIONSEINHEIT**

präoperativ	isokinetischer Krafttest Anleitung zur Selbstmobilisation der Kniescheibe und Oberschenkelanspannung
1. POT	Erstversorgung im ambulanten OP- Zentrum
2. POT	täglich zu Hause durchführen: Kühlen, Hochlagern, Ruhe
3. POT	Anlegen der Mecronschiene zusätzlich zu Hause zu og.: Spannungsübungen, Bewegungsschiene, Gangschule mit 10 kg Teilbelastung
2. POW	Anlegen und Einstellen der Knieorthese 0°-0°-90° vom Orthopädiemechaniker
3. /4. POW	Beginn der erweiterten ambulanten Physiotherapie täglich 2-4h Krankengymnastik mit geringem Anteil Trainingstherapie für 2-3 Wochen Therapieschwerpunkt Krankengymnastik zur Schaffung reizfreier Gelenkverhältnisse und Anbahnung der Quadrizepsaktivität unter Einbeziehung von PNF mit Overflow über Gegenseite und Oberkörper mit Lifting, Schopping, kurzer Fuß, dabei auch Adduktoren und Wadenmuskelaktivität (Zehenspitzenübungen bei gestrecktem Knie) nutzen, Gangschule mit Übergang von Teil- zu Vollbelastung, Koordinationstraining zur Bewegungskontrolle und Beinachsenstabilisation beim Gang, bei Reizfreiheit Radfahren, Wasserübungen
4. POW	Umstellen der Orthese auf 0°-0°-120°
4.-6. POW	Übergang zu Vollbelastung
ab 6. POW	Therapieschwerpunkt Trainingstherapie zum intensiven Muskelaufbau bei reizfreien Verhältnissen und guter Beweglichkeit, Beginn umfassendes Krafttraining für Beinmuskulatur (besonders Oberschenkelbeuger) mit hohem Anteil koordinativer und propriozeptiver Übungen zur Stabilisierung
7.-9. POW	Abschluss der ambulanten Reha
ab 9. POW	Medizinische Trainingstherapie allgemeines, unspezifisches Kraft- und Koordinationstraining Analog zu den Übungen der Rehakur sollten Sie 2-3x pro Woche aktiv werden, in Eigenregie zu Hause, im Abendprogramm unseres Sport- und Reha zentrums oder in jedem anderen Fitnessstudio unter entsprechend qualifizierter Anleitung.
4. - 6. POM	unspezifisches allgemeines Konditionstraining Nicht- und Gelegenheitssportlern wird empfohlen, kniefreundliche Ausdauersportarten zu betreiben, wie Radfahren, Schwimmen außer Brustschwimmen, Skilanglauf, Wandern, Jogging. Dabei sollte eine der drei Kräfteinheiten durch eine solche Ausdauereinheit ersetzt werden.

LEISTUNGSSPORTLER: spezielles Programm zum Training von Kraft, Schnelligkeit, Koordination und Ausdauer

9. POM Ein isokinetischer Kraffttest im REHA AM KREUZ gibt Auskunft über den Kraftaufbau der Muskulatur. Ziel ihres konsequenten Trainings sind seitengleiche Kraftverhältnisse der Kniebeuge- und Streckmuskulatur, was nach 9 Monaten konsequenten Übens zu schaffen ist. Dies ist zudem eine Grundlage für die dauerhafte Belastbarkeit Ihres Knies für Alltags- und Sportaktivitäten bzw. Wettkampfeinsatz.
- 9.-12. POM Freizeitsportler, die ihre Lieblingssportart wieder betreiben wollen und deren Technik sicher und sauber beherrschen, können diese bei seitengleichen Kraftverhältnissen, Schmerz- und Angstfreiheit wieder probieren. Nicht empfehlenswert ist es, neue Sportarten zu erlernen, die hohe Ansprüche an die Bewegungskoordination stellen und ein hohes Verletzungsrisiko haben, wie Alpiner Skisport, Surfen, Inlineskating.
LEISTUNGSSPORTLER: Spezielles Training auch in der Mannschaft bei seitengleichen Kraftverhältnissen, Ballsportler trainieren am Ball unter dem Technikaspekt ohne Wettkampfcharakter. Als Ausgleichssport können andere Sportarten (außer Kampfsportarten) betrieben werden.
Spiel- und Wettkampfeinsatz.

Viel Ausdauer, Erfolg, Gesundheit und Spaß
wünscht dabei das Team
REHA AM KREUZ Erfurt

Anhang 2: Fragebogen für Patienten



präoperativ (Lysholm - und Tegner - Score) und 6. postoperative Woche (nur Lysholm - erste Seite)

Patienten-Fragebogen		
Studie: EMS in der Rehabilitation vorderer Kreuzbandplastiken		
Datum:	Name:	- präoperative Erhebung -

Sehr geehrter Patient,

ich möchte Sie bitten, diesen kurzen Fragebogen sorgfältig zu beantworten. Diese Informationen sind für die Auswertung der Studie sehr wichtig. Selbstverständlich werden alle Ihre Angaben vertraulich behandelt.

Im folgenden Teil kreuzen Sie bitte die Aussagen an, die Ihrer Meinung nach für Sie zum jetzigen Zeitpunkt (ca. die letzten 2 Wochen vor der Operation) am ehesten zutreffen.

Mussten Sie hinken ?	<input type="radio"/> Nein, nie	Ja <input type="radio"/> nur gelegentlich oder leicht <input type="radio"/> schwer und ständig
Mussten Sie Gehhilfen benutzen?	<input type="radio"/> Nein, nie	Ja <input type="radio"/> Stock oder Stütze <input type="radio"/> Es war keine Belastung des Beins möglich.
Hatten Sie ein Instabilitätsgefühl?	<input type="radio"/> Nein, nie	Ja - bei Sport oder bei schwerer Anstrengung <input type="radio"/> selten <input type="radio"/> häufig <input type="radio"/> sportunfähig - auch bei alltäglicher Belastung <input type="radio"/> selten <input type="radio"/> häufig - bei jedem Schritt <input type="radio"/>
Hatten Sie Schmerzen ?	<input type="radio"/> Nein, nie	Ja - leichte, nur gelegentl. u. bei schwerer Anstrengung <input type="radio"/> - starke <input type="radio"/> bei Subluxation ("wegknicken") <input type="radio"/> bei schwerer Anstrengung <input type="radio"/> beim oder nach Gehen weniger als 2 km <input type="radio"/> beim oder nach Gehen mehr als 2 km - ständig <input type="radio"/>
Bemerkten Sie eine Schwellung am Knie?	<input type="radio"/> Nein, nie	Ja <input type="radio"/> bei Subluxation ("wegknicken") <input type="radio"/> nur bei schwerer Anstrengung <input type="radio"/> schon bei normaler Anstrengung <input type="radio"/> Knie war ständig geschwollen
Das Treppensteigen war:		<input type="radio"/> problemlos möglich. <input type="radio"/> leicht behindert. <input type="radio"/> nur einzelne Stufen möglich. <input type="radio"/> unmöglich.
Das Hocken war:		<input type="radio"/> problemlos möglich.  <input type="radio"/> leicht behindert. <input type="radio"/> nicht über 90 Grad möglich.  <input type="radio"/> unmöglich.

B. w. →

In der folgenden Tabelle bitte ich Sie, Aussagen zu Ihrer sportlichen bzw. berufsbedingten Beanspruchung vor und nach der Kreuzbandverletzung zu machen. Bitte kreuzen sie alles für Sie Zutreffende an. In die Quadrate kommen die den Zeitraum vor der Verletzung betreffenden Kreuzchen, in die Kreise setzen Sie Kreuze, die den Zeitraum der letzten 2-3 Wochen betreffen.

Legende: vor Verletzung ca. letzte 2-3 Wochen vor der Operation

Arbeit:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wegen Kniebeschwerden arbeitsunfähig oder berentet:
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	vorwiegend sitzende Tätigkeit
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	überwiegend stehende, körperliche Tätigkeit
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	leichte körperliche Arbeit (Verkäufer o. ä.)
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mittelschwere körperliche Arbeit (Lastwagenfahren, Bodenreinigung u. ä.)
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	schwere körperliche Arbeit (Bau, Waldarbeit u. ä.)
Gehen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	auf ebenem Boden (in Gebäuden, Fußweg, Straße)
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	auf unebenem Boden (Treppen, Waldboden u. ä.)
Sport:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nein
Freizeitsport	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Schwimmen, Waldspaziergänge
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Langlauf, Radfahren
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2x wöchentl. Jogging auf ebenem Boden (Straße)
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2x wöchentl. Jogging auf unebenem Boden (Weg, Wald)
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mind. 5x wöchentl. Jogging
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tennis, Leichtathletik, Turnen
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fußball, Hallen-Ballsport
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Querfeldeinlauf, Abfahrtslauf
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	andere.....
Turniersport	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Schwimmen
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Langlauf, Rad fahren, Rudern
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tennis, Leichtathletik, Turnen, Ringen
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hallen-Ballsportarten ohne Gegnerkontakt (Squash, Badminton o. ä.)
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Eishockey, Abfahrtslauf
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	andere.....
regionale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fußball
Turniere	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hallen-Ballsport mit Gegnerkontakt (Handball, Basketball)
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	andere.....
nationale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Abfahrtslauf, Eishockey
oder	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hallen-Ballsport ohne Gegnerkontakt
internationale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hallen-Ballsport mit Gegnerkontakt, Fußball
Turniere	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	andere.....

Unfallursache:	Sportunfall:	<input type="checkbox"/>	Fußball
		<input type="checkbox"/>	Abfahrtslauf
		<input type="checkbox"/>	Hallen-Ballsport
		<input type="checkbox"/>	andere:.....
	Verkehrsunfall	<input type="checkbox"/>	
	andere Ursache	<input type="checkbox"/>



Vielen Dank für Ihre Mühe.
Angela Staub

Anhang 3: Fragebogenaktion per Post

durchschnittlich 17 Monate postoperativ

Datum:	Patienten-Fragebogen	Nr.
Studie: EMS in der Rehabilitation vorderer Kreuzbandplastiken		

Sehr geehrter Patient, sehr geehrte Patientin,
ich möchte Sie bitten, diesen kurzen Fragebogen sorgfältig zu beantworten. Ihre Informationen sind für die Auswertung der Studie sehr wichtig. Selbstverständlich werden alle Angaben vertraulich behandelt. Im folgenden Teil kreuzen Sie bitte die Aussagen an, die Ihrer Meinung nach für Sie zum jetzigen Zeitpunkt am ehesten zutreffen.

<p>Müssen Sie hinken ?</p> <p><input type="radio"/> Nein, nie Ja <input type="radio"/> nur gelegentlich oder leicht <input type="radio"/> schwer und ständig</p>	
<p>Müssen Sie Gehhilfen benutzen?</p> <p><input type="radio"/> Nein, nie Ja <input type="radio"/> Stock oder Stütze <input type="radio"/> Es ist keine Belastung des Beins möglich.</p>	
<p>Haben Sie ein Instabilitätsgefühl?</p> <p><input type="radio"/> Nein, nie Ja</p> <p>- bei Sport oder bei schwerer Anstrengung <input type="radio"/> selten <input type="radio"/> häufig <input type="radio"/> sportunfähig</p> <p>- auch bei alltäglicher Belastung <input type="radio"/> selten <input type="radio"/> häufig</p> <p>- bei jedem Schritt <input type="radio"/></p>	
<p>Haben Sie Schmerzen ?</p> <p><input type="radio"/> Nein, nie Ja</p> <p>- leichte, nur gelegentl. u. bei schwerer Anstrengung <input type="radio"/></p> <p>- starke <input type="radio"/> bei Subluxation ("wegknicken") <input type="radio"/> bei schwerer Anstrengung <input type="radio"/> beim oder nach Gehen mehr als 2 km <input type="radio"/> beim oder nach Gehen weniger als 2 km <input type="radio"/> ständig <input type="radio"/></p>	
<p>Bemerken Sie eine Schwellung am Knie?</p> <p><input type="radio"/> Nein, nie</p> <p>Ja <input type="radio"/> bei Subluxation ("wegknicken") <input type="radio"/> nur bei schwerer Anstrengung <input type="radio"/> schon bei normaler Anstrengung <input type="radio"/> Knie ist ständig geschwollen</p>	<p>Besteht noch ein Seitenunterschied im Oberschenkelumfang ? (eventuell ca. 15 cm oberhalb des Knies nachmessen)</p> <p><input type="radio"/> nein, kein Seitenunterschied <input type="radio"/> ja, etwa 1-2 cm Seitenunterschied <input type="radio"/> ja, mehr als 2 cm Seitenunterschied</p>
<p>Das Treppensteigen ist:</p> <p><input type="radio"/> problemlos möglich. <input type="radio"/> leicht behindert. <input type="radio"/> nur einzelne Stufen möglich. <input type="radio"/> unmöglich.</p>	<p>Das Hocken ist:</p> <p><input type="radio"/> problemlos möglich. </p> <p><input type="radio"/> leicht behindert.</p> <p><input type="radio"/> nicht über 90 Grad möglich. </p> <p><input type="radio"/> unmöglich.</p>
<p>Wie zufrieden sind Sie mit dem Behandlungsergebnis?</p> <p><input type="radio"/> sehr zufrieden <input type="radio"/> zufrieden <input type="radio"/> nicht zufrieden <input type="radio"/> sehr unzufrieden</p>	<p>Welcher der folgenden Punkte beeinflusst am meisten die nebenstehende Entscheidung ?</p> <p><input type="radio"/> Beweglichkeit des Kniegelenks <input type="radio"/> Kraft des Oberschenkels <input type="radio"/> Stabilität des Kniegelenks <input type="radio"/> Schmerzen, Schwellung</p>

B. w. 

<p>Wie viel Wochen nach der Operation konnten Sie die Arbeit wieder aufnehmen ? <input type="radio"/> Wochen</p> <p>Wie wichtig ist der Zustand des Kniegelenks für Ihre berufliche Tätigkeit ? <input type="radio"/> sehr wichtig <input type="radio"/> nicht so wichtig</p>	<p>Bitte schätzen Sie selbst ein: Die Kraft meiner Oberschenkelmuskulatur ist:</p> <p><input type="radio"/> sehr gut (wie Gegenseite) <input type="radio"/> noch leichte Defizite vorhanden <input type="radio"/> schlecht (starker Seitenunterschied)</p>
<p>Wie zufrieden sind Sie mit der Nachbehandlung im Reha-zentrum am Kreuz Erfurt ? <input type="radio"/> sehr zufrieden <input type="radio"/> zufrieden <input type="radio"/> nicht zufrieden <input type="radio"/> sehr unzufrieden</p>	<p>Bitte schätzen Sie selbst ein: Die Beweglichkeit des (operierten) Kniegelenks ist:</p> <p><input type="radio"/> sehr gut <input type="radio"/> leichte Einschränkung der <input type="radio"/> Beugung und <input type="radio"/> Streckung <input type="radio"/> starke Einschränkung der <input type="radio"/> Beugung und <input type="radio"/> Streckung</p>
<p>Wie oft nach der Kreuzbandplastik musste Ihr Knie wegen Erguss punktiert werden?</p> <p><input type="radio"/> kann mich nicht erinnern <input type="radio"/> gar nicht</p> <p><input type="radio"/> 1-2 mal <input type="radio"/> 3-5 mal <input type="radio"/> ca. 10 mal</p>	

In der folgenden Tabelle bitte ich Sie, Aussagen zu Ihrer sportlichen bzw. berufsbedingten Beanspruchung zum jetzigen Zeitpunkt zu machen. Bitte kreuzen sie alles für Sie Zutreffende an.

<p>Arbeit:</p>	<p><input type="radio"/> wegen Kniebeschwerden arbeitsunfähig oder berentet <input type="radio"/> vorwiegend sitzende Tätigkeit <input type="radio"/> überwiegend stehende, körperliche Tätigkeit <input type="radio"/> leichte körperliche Arbeit (Verkäufer o. ä.) <input type="radio"/> mittelschwere körperliche Arbeit (Lastwagenfahren, Bodenreinigung u. ä.) <input type="radio"/> schwere körperliche Arbeit (Bau, Waldarbeit u. ä.)</p>
<p>Gehen:</p>	<p><input type="radio"/> auf ebenem Boden (in Gebäuden, Fußweg, Straße) <input type="radio"/> auf unebenem Boden (Treppen, Waldboden u. ä.)</p>
<p>Sport:</p> <p><input type="radio"/> nein</p> <p>Freizeitsport</p> <p>Turniersport</p> <p>regionale Turniere</p> <p>nationale oder internationale Turniere</p>	<p><input type="radio"/> nein</p> <p><input type="radio"/> Schwimmen, Waldspaziergänge <input type="radio"/> Langlauf, Rad fahren <input type="radio"/> 2x wöchentl. Jogging auf ebenem Boden (Straße) <input type="radio"/> 2x wöchentl. Jogging auf unebenem Boden (Weg, Wald) <input type="radio"/> mind. 5x wöchentl. Jogging <input type="radio"/> Tennis, Leichtathletik, Turnen <input type="radio"/> Fußball, Hallen-Ballsport <input type="radio"/> Querfeldeinlauf, Abfahrtslauf <input type="radio"/> andere.....</p> <p><input type="radio"/> Schwimmen <input type="radio"/> Langlauf, Rad fahren, Rudern <input type="radio"/> Tennis, Leichtathletik, Turnen, Ringen <input type="radio"/> Hallen-Ballsportarten ohne Gegnerkontakt <input type="radio"/> (Squash, Badminton o. ä.) <input type="radio"/> Eishockey, Abfahrtslauf <input type="radio"/> andere.....</p> <p><input type="radio"/> Fußball <input type="radio"/> Hallen-Ballsport mit Gegnerkontakt (Handball, Basketball) <input type="radio"/> andere.....</p> <p><input type="radio"/> Abfahrtslauf, Eishockey <input type="radio"/> Hallen-Ballsport ohne Gegnerkontakt <input type="radio"/> Hallen-Ballsport mit Gegnerkontakt, Fußball <input type="radio"/> andere.....</p>

Datum:	Patienten-Fragebogen	Nr.
Studie: EMS in der Rehabilitation vorderer Kreuzbandplastiken		

Sie bekamen zur Heimbehandlung nach der Kreuzbandplastik für 4 Wochen ein tragbares Gerät zur elektrischen Muskelstimulation verordnet. In die Handhabung des Gerätes wurden Sie von einer Schwester eingewiesen. Auf diese spezielle Behandlungsweise beziehen sich folgende Fragen:

Wie wichtig für die Erhaltung der Muskelkraft ist **Ihrer Meinung nach** die Elektrostimulation der Muskulatur in den ersten Wochen nach Operation ?

- sehr wichtig
- wichtig
- nicht so wichtig
- völlig unwichtig / überflüssig

Wie empfanden sie diese Behandlung ?

- angenehmes Gefühl
- tolerabel
- unangenehmes Gefühl
- schmerzhaft

Wie **oft** und wie **lange** führten sie selbst die elektrische Muskelstimulation durch ?

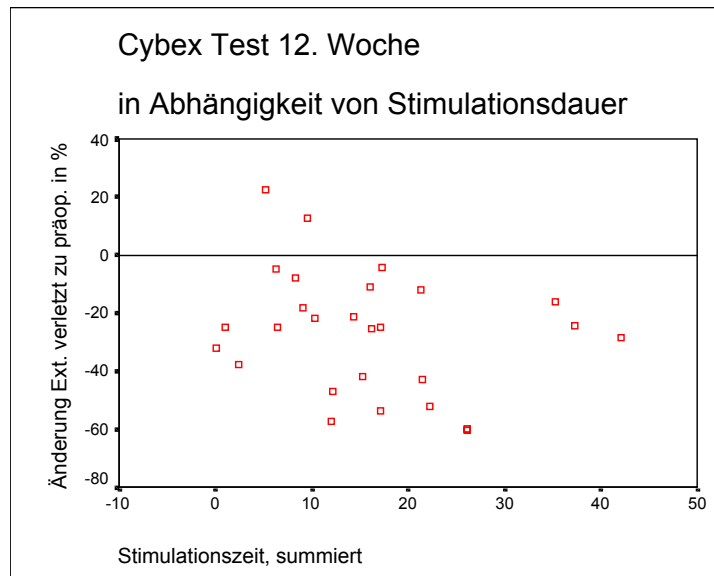
- | | |
|---------------------------------------|------------------------------|
| <input type="radio"/> 1x täglich | pro "Sitzung" ca: |
| <input type="radio"/> 2x täglich | 5 min <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> 3x täglich | 10 min <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> jeden 2./3. Tag | 15 min <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> ab und zu | 30 min <input type="radio"/> |

Sollten Sie die Elektrostimulationsbehandlung nicht so oft wie empfohlen durchgeführt haben, was waren die wichtigsten Gründe dafür?
(maximal 3 Kreuze)

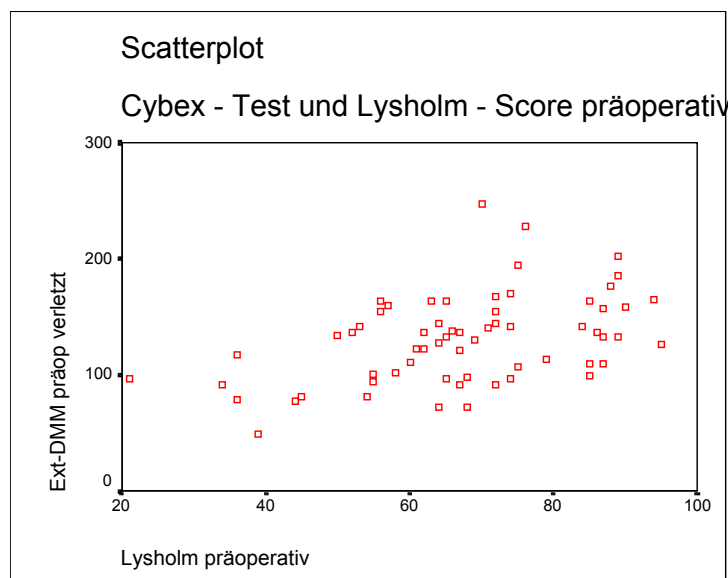
- zu umständlich/kompliziert
- zu zeitaufwendig
- zu unangenehm/schmerzhaft
- unsicher im Umgang mit dem Gerät
- weiß nicht, wozu das gut sein soll
- andere Gründe (bitte kurz nennen)

.....
.....

Anhang 4: Zusammenhang zwischen Stimulationszeit und Cybex - Krafttest



Anhang 5: Zusammenhang zwischen Lysholm - Score und Cybex - Test



Anhang 6: Cybex - Test. Messwerte**Cybex - Test, Verlauf der DMM - Extensoren**

EMS		Ext-DMM präop gesund	Ext-DMM präop verletzt	Ext-DMM 12. Wo. gesund	Ext-DMM 12. Wo. verletzt	Ext-DMM 9.Mo gesund	Ext-DMM 9.Mo verletzt
KG	Mean	156,61	139,77*	169,61*	108,08*	186,95*	158,70*
	N	44	44	36	36	20	20
	Std. Deviation	38,55	40,46	33,10	31,89	35,13	30,06
EMS-G	Mean	141,26	122,49*	148,63*	85,93*	155,48*	129,57*
	N	39	39	30	30	21	21
	Std. Deviation	32,68	35,55	35,05	33,19	41,41	38,99
Total	Mean	149,40	131,65	160,08	98,02	170,83	143,78
	N	83	83	66	66	41	41
	Std. Deviation	36,52	38,98	35,34	34,10	41,20	37,51

(* = Sig. 0,05 - 0,01)

Cybex - Test, Verlauf DMM Flexoren

EMS		Flex-DMM präop gesund	Flex-DMM präop verletzt	Flex-DMM 12.Wo gesund	Flex-DMM 12.Wo verletzt	Flex-DMM 9.Mo gesund	Flex-DMM 9.Mo verletzt
KG	Mean	105,85	99,29	113,76*	109,41*	123,65	125,40
	N	41	41	37	37	20	20
	Std. Deviation	33,37	32,27	25,84	31,00	29,28	25,54
EMS-G	Mean	94,17	86,58	94,70*	85,80*	109,57	105,52
	N	36	36	30	30	21	21
	Std. Deviation	26,61	25,51	26,68	29,46	27,90	30,00
Total	Mean	100,39	93,35	105,22	98,84	116,44	115,22
	N	77	77	67	67	41	41
	Std. Deviation	30,77	29,81	27,72	32,33	29,11	29,34

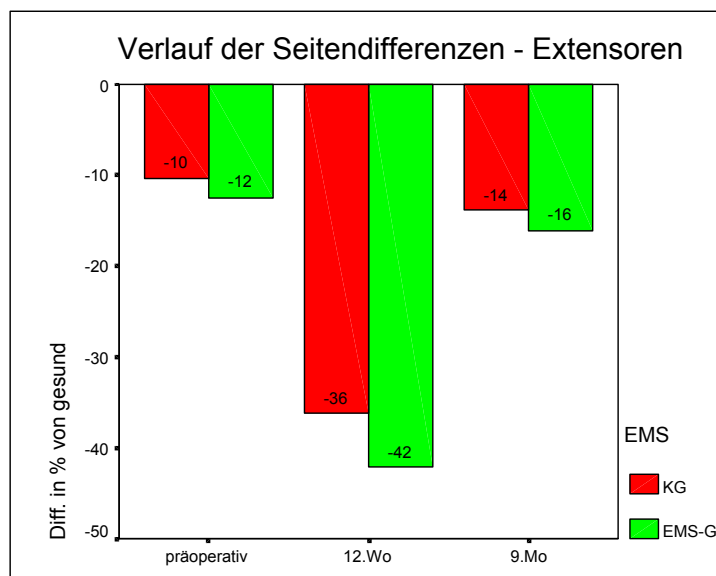
(* = Sig. 0,01)

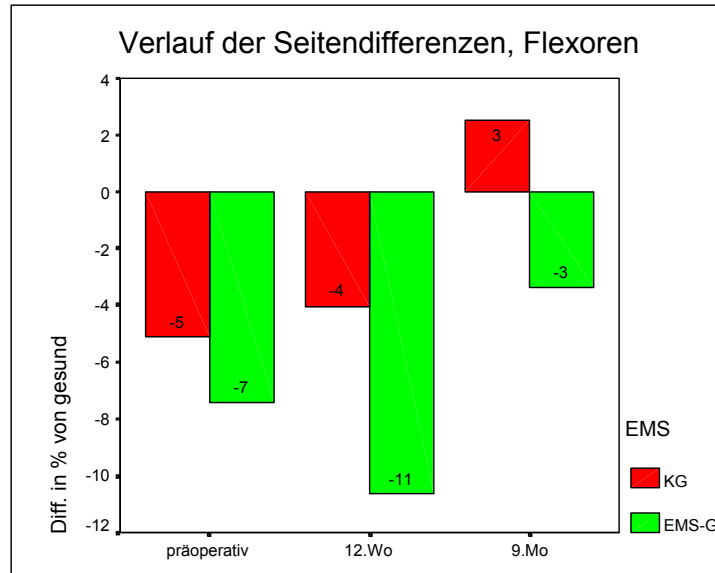
Cybox-Test, Änderung DMM - Extensoren + Flexoren

EMS		Änd Ext präop-12.Wo ges	Änd Ext präop-9.Mo ges	Änd Ext präop-12.Wo verl	Änd Ext präop-9.Mo verl	Änd Flex präop-12.Wo ges	Änd Flex präop-9.Mo ges	Änd Flex präop-12.Wo verl	Änd Flex präop-9.Mo verl
KG	Mean	14,2564	13,3577	-19,4010	11,2420	12,5276	19,7917	12,0373	30,0451
	N	35	18	35	18	34	18	34	18
	Std. Deviation	36,8455	21,9416	32,8366	41,6641	43,8199	33,5187	27,5175	28,5860
EMS-G	Mean	12,5343	14,8439	-26,7188	8,7349	11,5117	21,6507	9,2786	25,6831
	N	27	19	27	19	25	19	25	19
	Std. Deviation	16,0796	18,4025	21,1699	27,0608	20,6326	20,4308	30,1823	18,3441
Total	Mean	13,5064	14,1209	-22,5878	9,9546	12,0971	20,7463	10,8683	27,8052
	N	62	37	62	37	59	37	59	37
	Std. Deviation	29,4557	19,9308	28,3794	34,4599	35,6220	27,2055	28,4548	23,6436

Cybox-Test, Seitendifferenzen

EMS		Seit.diff präop Ext in% von ges	Seit.diff 12.Wo Ext in % von ges	Seit.diff 9.Mo Ext in % von ges	Seit.diff präop Flex in % von ges	Seit.diff 12.Wo Flex in % von ges	Seit.diff 9.Mo Flex in % von ges
KG	Mean	-10,3104	-36,2477	-13,8517	-5,1296	-4,0524	2,5429
	N	44	36	20	41	37	20
	Std. Deviation	15,4667	15,5874	14,9702	14,2076	14,1316	11,2496
EMS-G	Mean	-12,4374	-42,1839	-16,0507	-7,4411	-10,6391	-3,3876
	N	39	30	21	36	30	21
	Std. Deviation	19,1429	17,5615	15,9683	12,1983	17,0428	14,7597
Total	Mean	-11,3098	-38,9460	-14,9780	-6,2103	-7,0017	-,4947
	N	83	66	41	77	67	41
	Std. Deviation	17,2164	16,6522	15,3356	13,2708	15,7304	13,3433





Cybex - Test, H/Q -Quotienten

EMS		H/Q in % präop gesund	H/Q in % präop verletzt	H/Q in % 12.Wo gesund	H/Q in % 12.Wo verletzt	H/Q in % 9.Mo gesund	H/Q in % 9.Mo verletzt
KG	Mean	69,0732	71,86	68,7500	104,44	66,3000	80,5000
	N	41	44	36	36	20	20
	Std. Deviation	16,7934	15,46	12,9380	28,27	13,0590	14,2736
EMS-G	Mean	65,8333	82,36	68,6000	101,50	70,7619	83,3810
	N	36	39	30	30	21	21
	Std. Deviation	9,4672	61,51	24,1669	29,37	9,1318	18,0041
Total	Mean	67,5584	76,80	68,6818	103,11	68,5854	81,9756
	N	77	83	66	66	41	41
	Std. Deviation	13,8692	43,66	18,7273	28,59	11,3048	16,1547

Cybex - Test, Vergleich nach Geschlecht, Extensoren

geschlecht		Ext-DMM präop gesund	Ext-DMM präop verletzt	Ext-DMM 12. Wo. gesund	Ext-DMM 12. Wo. verletzt	Ext-DMM 9.Mo gesund	Ext-DMM 9.Mo verletzt
männlich	Mean	159,29	140,47	171,67	109,06	182,4848	155,3939
	N	68	68	52	52	33	33
	Std. Deviation	30,85	35,72	29,42	28,11	36,6786	30,4127
weiblich	Mean	104,53	91,67	117,00	57,00	122,7500	95,8750
	N	15	15	14	14	8	8
	Std. Deviation	25,01	26,50	17,69	20,35	16,3336	23,4973
Total	Mean	149,40	131,65	160,08	98,02	170,8293	143,7805
	N	83	83	66	66	41	41
	Std. Deviation	36,52	38,98	35,34	34,10	41,1988	37,5077

Cybox - Test, Vergleich nach Geschlecht, Flexoren

geschlecht		Flex-DMM präop gesund	Flex-DMM präop verletzt	Flex-DMM 12.Wo gesund	Flex-DMM 12.Wo verletzt	Flex-DMM 9.Mo gesund	Flex-DMM 9.Mo verletzt
männlich	Mean	108,2540	100,9206	114,6604	110,5094	124,4242	124,7879
	N	63	63	53	53	33	33
	Std. Deviation	27,0656	26,5520	21,1168	23,6339	26,1355	23,5143
weiblich	Mean	65,0000	59,2857	69,5000	54,6429	83,5000	75,7500
	N	14	14	14	14	8	8
	Std. Deviation	19,7912	17,4287	19,4768	20,3531	13,3631	13,3924
Total	Mean	100,3896	93,3506	105,2239	98,8358	116,4390	115,2195
	N	77	77	67	67	41	41
	Std. Deviation	30,7666	29,8054	27,7176	32,3324	29,1085	29,3398

Anhang 7: Oberschenkelumfang - Messwerte**OSU - 2. Woche**

EMS		OSU 2. Wo gesund bei 10 cm	OSU 2. Wo gesund bei 20 cm	OSU 2. Wo verletzt bei 10 cm	OSU 2. Wo verletzt bei 20 cm	Seit.diff 2. Wo bei 10cm in cm	Seit. diff 2. Wo bei 20cm in cm
keine EMS	Mean	44,6667	52,8810	42,4400	49,1600	-2,0000	-3,2619
	N	21	21	25	25	21	21
	Std. Deviation	3,3553	4,0059	2,9023	3,8695	2,1622	1,7580
mit EMS	Mean	44,5714	51,8571	41,6042	48,0000	-3,0238	-3,5714
	N	21	21	24	24	21	21
	Std. Deviation	3,8023	3,4429	3,2803	3,4766	1,5368	1,3161
Total	Mean	44,6190	52,3690	42,0306	48,5918	-2,5119	-3,4167
	N	42	42	49	49	42	42
	Std. Deviation	3,5421	3,7254	3,0896	3,6907	1,9238	1,5418

OSU - 6. Woche

EMS		OSU 6. Wo gesund bei 10 cm	OSU 6. Wo gesund bei 20 cm	OSU 6. Wo verletzt bei 10 cm	OSU 6. Wo verletzt bei 20 cm	Seit.diff. 6. Wo bei 10cm in cm	Seit.diff 6. Wo bei 20cm in cm
keine EMS	Mean	43,2500	51,8750	40,1111	47,8889	-2,9375	-3,3750
	N	8	8	9	9	8	8
	Std. Deviation	3,6547	3,6130	3,5247	3,8873	1,7816	1,9039
mit EMS	Mean	44,5000	52,9000	41,7143	49,3571	-3,7000	-3,8000
	N	5	5	7	7	5	5
	Std. Deviation	4,4441	4,0062	3,1472	2,3579	1,9875	1,9558
Total	Mean	43,7308	52,2692	40,8125	48,5313	-3,2308	-3,5385
	N	13	13	16	16	13	13
	Std. Deviation	3,8439	3,6379	3,3560	3,2938	1,8213	1,8536

OSU 12. Woche

EMS		OSU 12. Wo gesund bei 10 cm	OSU 12. Wo gesund bei 20 cm	OSU12. Wo verletzt bei 10 cm	OSU 12. Wo verletzt bei 20 cm	Seit.diff. 12. Wo bei 10cm in cm	Seit.diff. 12. Wo bei 20cm in cm
keine EMS	Mean	44,2879	53,8788	42,7576	51,8636	-1,5303	-2,0152
	N	33	33	33	33	33	33
	Std. Deviation	3,7894	3,8038	3,6681	4,0278	1,5459	1,6512
mit EMS	Mean	44,5000	53,5714	42,5536	50,8393	-1,9464	-2,7321
	N	28	28	28	28	28	28
	Std. Deviation	2,9659	3,7533	2,9700	3,6440	1,7285	1,6804
Total	Mean	44,3852	53,7377	42,6639	51,3934	-1,7213	-2,3443
	N	61	61	61	61	61	61
	Std. Deviation	3,4100	3,7523	3,3401	3,8591	1,6318	1,6895

Änderung OSU bei 10 cm**Group Statistics**

	EMS	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Änd. 2. Wo ges. bei 10cm	mit EMS	14	,8571	3,3651	,8994
	keine EMS	11	-1,2273	2,3597	,7115
Änd. 2. Wo verl. bei 10cm	mit EMS	16	-1,4375	3,4635	,8659
	keine EMS	15	-2,6333	1,6952	,4377
Änd. 6. Wo ges. bei 10cm	mit EMS	4	3,3750	2,4958	1,2479
	keine EMS	5	-1,6000	3,3801	1,5116
Änd. 6. Wo verl. bei 10cm	mit EMS	6	-1,2500	2,7704	1,1310
	keine EMS	6	-3,1667	3,1728	1,2953
Änd. 12. Wo ges. bei 10cm	mit EMS	22	1,3409	2,1843	,4657
	keine EMS	23	-,1087	2,8000	,5838
Änd. 12. Wo verl. bei 10cm	mit EMS	22	-4,55E-02	1,8892	,4028
	keine EMS	23	-1,5652	2,0299	,4233

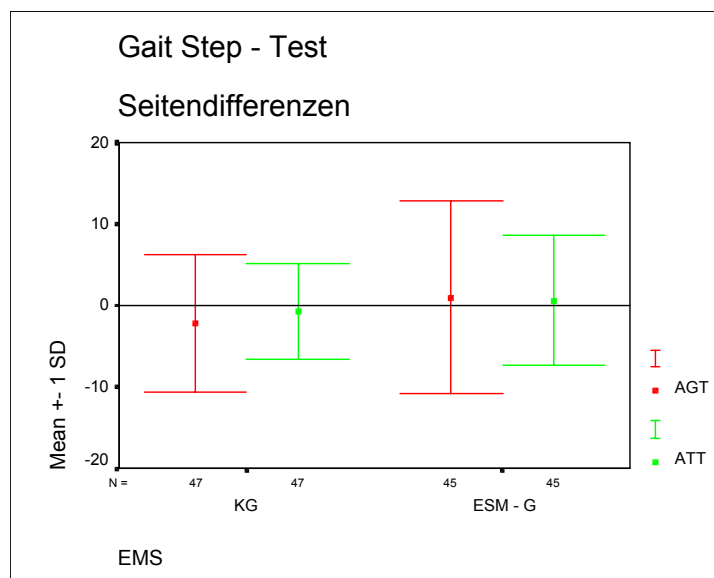
Änderung OSU bei 20cm**Group Statistics**

	EMS	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Änd. 2. Wo ges. bei 20cm	mit EMS	14	-,7857	1,7836	,4767
	keine EMS	11	-2,3182	3,4876	1,0516
Änd. 2. Wo verl. bei 20cm	mit EMS	16	-3,4688	1,9872	,4968
	keine EMS	15	-5,0000	2,4422	,6306
Änd. 6. Wo ges. bei 20cm	mit EMS	4	2,0000	2,1602	1,0801
	keine EMS	5	-1,7000	2,9069	1,3000
Änd. 6. Wo verl. bei 20cm	mit EMS	6	-1,9167	1,7725	,7236
	keine EMS	6	-3,2500	2,8062	1,1456
Änd. 12. Wo ges. bei 20cm	mit EMS	23	1,8043	2,0042	,4179
	keine EMS	23	-,3478	2,5020	,5217
Änd. 12. Wo verl. bei 20cm	mit EMS	23	-,4783	1,9568	,4080
	keine EMS	23	-1,5435	2,3204	,4838

Anhang 8: Fastex - Test. Messwerte

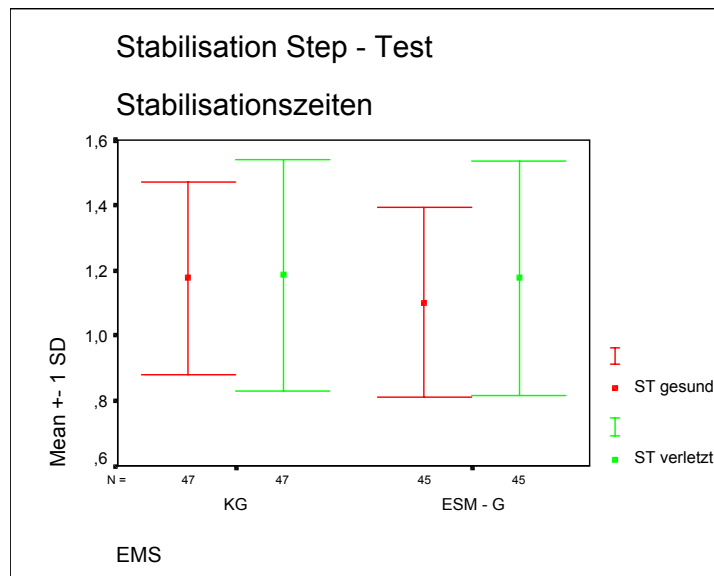
Fastex, Gait-Step Test

EMS		Gait Step, AGT, ges.	Gait Step, AGT, verl.	Gait Step, AGT Seit.diff. v-g	Gait Step, ATT, ges.	Gait Step, ATT, verl.	Gait-Step, ATT Seit.diff.v-g
KG	Mean	,7938	,7767	-2,2368	,9709	,9651	-,6856
	N	47	47	47	47	47	47
	Std. Deviation	,1634	,1901	8,4221	,1676	,1907	5,8516
ESM - G	Mean	,8050	,8179	,9601	,9818	,9908	,5870
	N	45	45	45	45	45	45
	Std. Deviation	,2000	,2684	11,8162	,2108	,2753	7,9892
Total	Mean	,7993	,7969	-,6731	,9762	,9777	-6,31E-02
	N	92	92	92	92	92	92
	Std. Deviation	,1813	,2313	10,2931	,1890	,2349	6,9699



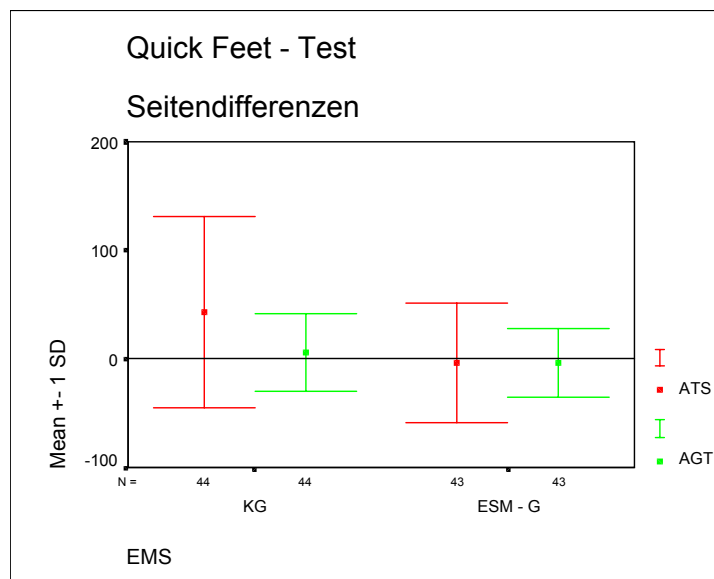
Fastex, Stabilisation Step Test

EMS		Fastex: Stabilisation Step Test :ST gesund	Fastex: Stabilisation Step Test :ST verletzt	Stab. Step Zeit.diff in % von ges
KG	Mean	1,1763	1,1865	4,3395
	N	47	47	47
	Std. Deviation	,2955	,3556	35,6728
ESM - G	Mean	1,1004	1,1758	8,4556
	N	45	45	45
	Std. Deviation	,2913	,3620	26,3852
Total	Mean	1,1391	1,1812	6,3528
	N	92	92	92
	Std. Deviation	,2943	,3568	31,3713



Fastex, Quick feet

EMS		Quick Feet, AGT, ges.	Quick Feet, AGT, verl.	Quick Feet, AGT Seit.diff. in % g-v	Quick Feet, ATS, ges.	Quick Feet, ATS, verl.	Quick Feet, ATS Seit.diff. in % g-v
KG	Mean	,4727	,4765	6,25	,8987	1,0155	43,23
	N	44	44	44	44	44	44
	Std. Deviation	,1257	,1190	35,94	,6292	,3528	87,54
ESM - G	Mean	,5019	,4712	-3,54	1,0644	,8958	-3,13
	N	43	43	43	43	43	43
	Std. Deviation	,1258	,1563	31,81	,5419	,4154	54,96
Total	Mean	,4871	,4739	1,41	,9806	,9563	20,32
	N	87	87	87	87	87	87
	Std. Deviation	,1259	,1379	34,12	,5902	,3875	76,49



Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass

mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Herr Prof. Dr. med. Karl Heinrich Winker, Herr Dr. med. P. Ullmann,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die in Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Erfurt, den 15.01.2002

Angela Staub

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. med. Eberhard Markgraf für die Weiterbetreuung und Begutachtung der Dissertation meinen herzlichen Dank aussprechen.

Einen besonderen Dank richte ich an Herrn Prof. Dr. med. Karl Heinrich Winker. Er hat mich sowohl durch fachliche Beratung als auch durch mahnende und motivierende Gespräche sehr bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt.

Ebenfalls Dank sagen möchte ich Herrn Dr. med. P. Ullmann für die Möglichkeit der Nachuntersuchungen in seiner Praxis und dem Reha- Zentrum sowie die wertvollen Anregungen und Hinweise bei der Abfassung der Arbeit. Ganz besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Reha- Zentrums am Kreuz Erfurt - vor allem Frau Marita Plaschke und Herrn Ingolf Bachmann sowie Schwester Simona, die mich bei der Auswahl und Durchführung der Nachuntersuchungen so hilfreich unterstützt haben.

Ganz speziell möchte ich meiner Freundin Daniela Kurzke und Frau Heidrun Runge für die Korrektur der Arbeit danken. Letztendlich bedanke ich mich bei meinem Mann, ohne dessen Unterstützung die Fertigstellung der Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Angela Staub

Tabellarischer Lebenslauf

Name: Angela Staub, geb. Alinski
geboren: 01. 01. 1971 in Mühlhausen/Thür.
Familienstand: verheiratet, 2 Kinder

1977-87 Realschule Keula
1987-90 Ausbildung zur Krippenerzieherin
1990-93 angestellt als Krippenerzieherin beim Magistrat der Stadt Erfurt
1991-94 Abitur an der Volkshochschule Erfurt
1994- vorauss. 2003 Studium der Humanmedizin an der FSU Jena
1996 Ärztliche Vorprüfung
1997 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
2001 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Erfurt, den 15.01.2002

Angela Staub