

„Modellbasierte Multiparameteroptimierung für die Planung und Durchführung gelenkerhaltender Umstellungsosteotomien“

Von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur Erik Schkommodau

aus Hoyerswerda

Berichter: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Günter Rau
Univ. Prof. Dr.-Ing. Karl-Friedrich Kraiss

Tag der mündlichen Prüfung: 4. Februar 2005

Erik Schkommodau

**Modellbasierte Multiparameteroptimierung
für die Planung und Durchführung
gelenkerhaltender Umstellungsosteotomien**



Helmholtz-Institut
für Biomedizinische Technik
an der RWTH Aachen

Shaker Verlag
D 82 (Diss. RWTH Aachen)

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2005

Copyright Shaker Verlag 2005

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-3847-6

ISSN 1430-7316

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

| | |
|---|-----------|
| 1. Einleitung..... | 7 |
| 2. Medizinischer Hintergrund..... | 9 |
| 2.1 Korrekturosteotomien an den unteren Extremitäten versus Totalendoprothetik | 9 |
| 2.2 Konventionelle Operationstechniken zur Umstellung der unteren Extremitäten | 11 |
| 2.2.1 Operationsplanung..... | 11 |
| 2.2.2 Operationsdurchführung..... | 15 |
| 3. Stand der Technik und Problemstellung | 21 |
| 4. Modellierung und informationstechnischer Lösungsansatz | 29 |
| 4.1 Allgemeiner Lösungsansatz | 29 |
| 4.2 Schnittstellendefinition des Planungssystems | 30 |
| 4.3 Anatomiemodellierung..... | 33 |
| 4.3.1 Koordinatensysteme des Femurs | 34 |
| 4.3.2 Koordinatensysteme der Tibia..... | 37 |
| 4.3.3 Koordinatensystem des Acetabulums..... | 38 |
| 4.3.4 Modell des deformierten Knochens..... | 39 |
| 4.3.5 Mathematische Beschreibung der Umstellungsosteotomie | 39 |
| 4.3.6 Definition der Fehlstellungen am 3D-Modell..... | 42 |
| 5. Auswahl und Implementierung eines Optimierungsverfahrens..... | 45 |
| 5.1 Identifikation und Formulierung der Optimierungsziele | 45 |
| 5.2 Identifikation und Formulierung notwendiger Optimierungsnebenbedingungen..... | 46 |
| 5.3 Normierungsfiler | 49 |
| 5.4 Optimierungsverfahren | 52 |
| 5.4.1 Klassifikation der Optimierungsverfahren | 53 |
| 5.4.2 Lineare Optimierungsalgorithmen..... | 54 |
| 5.4.3 Nichtlineare Optimierungsalgorithmen | 54 |
| 5.4.4 Vergleich der Optimierungsverfahren | 64 |
| 5.4.5 Auswahl | 65 |
| 5.5 Implementierung der Optimierungsmethoden | 66 |
| 5.5.1 Systematische Suche – Methode A | 67 |
| 5.5.2 Multistart-Complex – Methode B..... | 68 |
| 5.5.3 Sequenzielle-Quadratische-Programmierung (SQP) – Methode C | 70 |

| | |
|---|------------|
| 6. Planungssystementwicklung..... | 91 |
| 6.1 Informationsmanagement..... | 91 |
| 6.2 Strukturierung der Benutzerschnittstelle..... | 94 |
| 6.2.1 Physikalische Benutzerschnittstelle..... | 94 |
| 6.2.2 Struktur des Dialogsystems | 94 |
| 6.3 Implementierung des geometrischen Modells..... | 97 |
| 6.4 Interaktion mit dem geometrischen Modell | 100 |
| 6.5 Bestimmung der mechanischen Achsen des Kniegelenkes..... | 102 |
| 7. Evaluierung des Planungssystems | 105 |
| 7.1 Akquisition des geometrischen Planungsmodells | 106 |
| 7.2 Einfluss der Röntgenbildauflösung..... | 107 |
| 7.3 Identifikation der kinematischen Knieachsen | 108 |
| 7.3.1 Platzierung der Referenzbasen | 109 |
| 7.3.2 Verfahrensspezifische Parameter..... | 109 |
| 7.3.3 Objektivität des Verfahrens..... | 110 |
| 7.3.4 Fixierung des Tibia Rigid Bodys | 111 |
| 7.4 Einfluss der Steuerparameter der Optimierungsmethoden..... | 111 |
| 7.5 Einfluss der Optimierungsmethode..... | 118 |
| 7.6 Einfluss von Osteotomie- und Osteosynthesefehlern..... | 120 |
| 7.7 Osteosynthese unter Laborbedingungen | 124 |
| 7.8 Kostenabschätzung..... | 128 |
| 7.8.1 Hüftgelenk | 128 |
| 7.8.2 Kniegelenk..... | 131 |
| 8. Zusammenfassung und Ausblick..... | 133 |
| 9. Literatur | 137 |
| 10. Anhang..... | 147 |
| 10.1 Begriffserklärungen..... | 147 |
| 10.2 Mathematische Herleitungen | 149 |
| 10.2.1 Koordinaten der affinen Transformation des 3D-Raumes in Abhängigkeit von der Rotationsnormalen, dem Drehwinkel und dem Verschiebungsvektor | 149 |
| 10.2.2 Exakte Berechnung des nicht überdeckten Anteiles des transformierten ebenen Zylinderschnittes..... | 154 |

| | | |
|-------------------|---|------------|
| 10.2.3 | Approximative Berechnung des nicht überdeckten Anteiles des transformierten ebenen Zylinderschnittes für kleine Transformationen..... | 161 |
| 10.2.4 | Herleitung der Lagebeschränkung der Schnittebenen bei der Keilosteotomie..... | 164 |
| 10.2.5 | Herleitung der Beschränkung auf die Nichtdurchdringung der Knochensegmente bei der Keilosteotomie | 167 |
| Lebenslauf | | 173 |