



Open Book Verletzungen des Beckenrings

Biomechanischer Bruchversuch versus FE-Computersimulation

N. Hammer ¹⁺², J. Böhme ¹, U. Lingslebe ³, H. Steinke H ², Slowik V ³, Josten C ¹

¹ Klinik und Poliklinik für Unfall-, Wiederherstellungs- und Plastische Chirurgie, Universität Leipzig

² Institut für Anatomie, Universität Leipzig

³ Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Leipzig



Klinischer Hintergrund

Typ B Beckenringfrakturen (Open-Book Verletzungen, OB)

- horizontale Instabilität durch Literatur beschrieben
- Beteiligung der Bänder des Kreuzdarmbeingelenks ungeklärt
- mangelnde Kenntnis über (multidirektionale) Instabilitäten, welche aus OB folgen

Ziel

1. Aufklärung des Frakturmechanismus und der resultierenden Instabilitäten von Open-Book Verletzungen
2. Vergleich der osteoligamentären Modelle: biomechanische Testung am Körperspender und Finite-Elemente Simulation

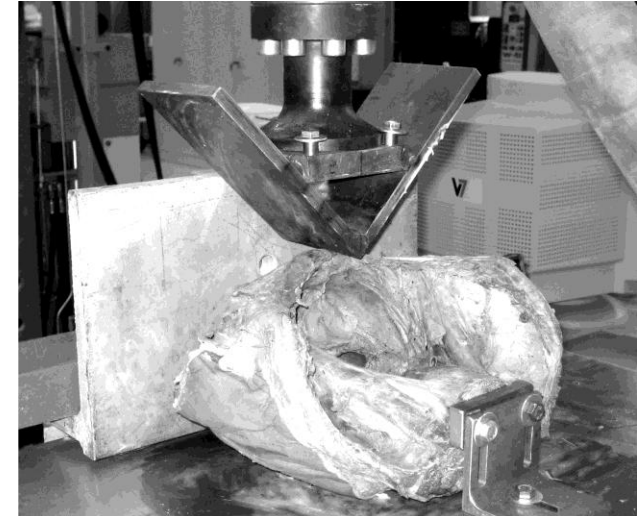
Materialtestungen an 8 Körperspendern

Biomechanischer Bruchversuch durch

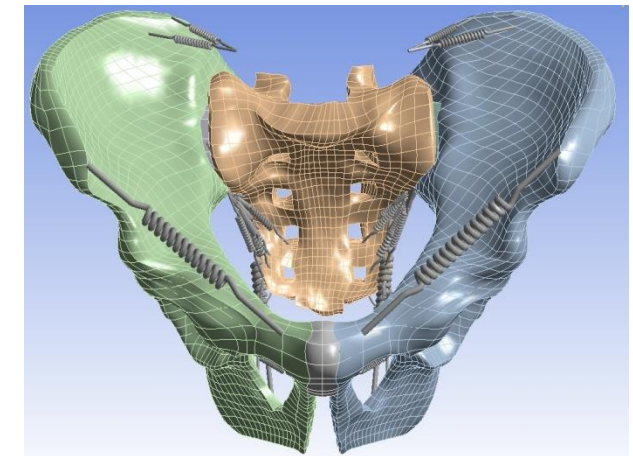
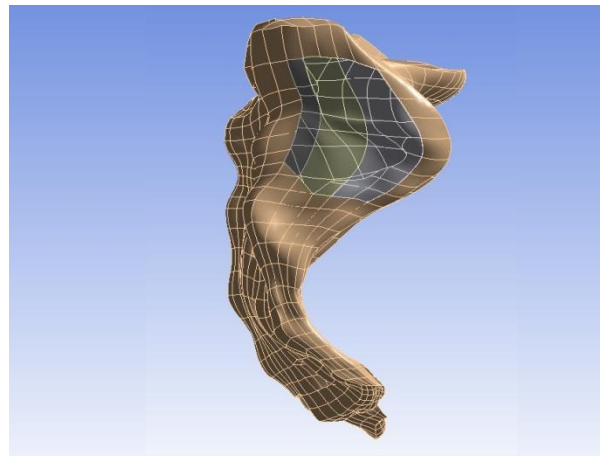
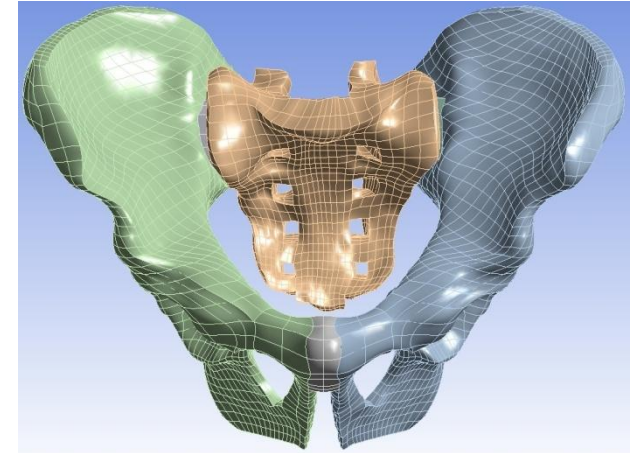
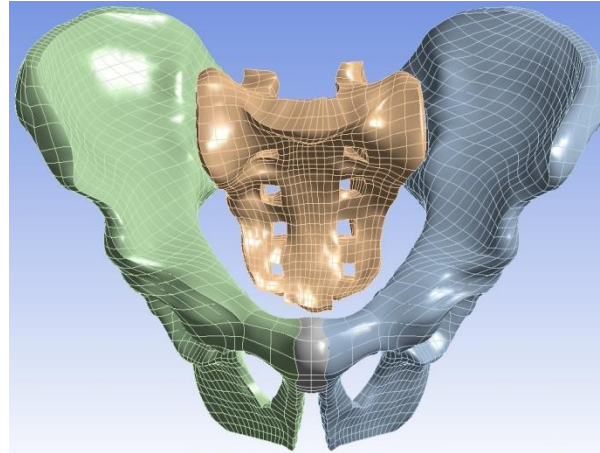
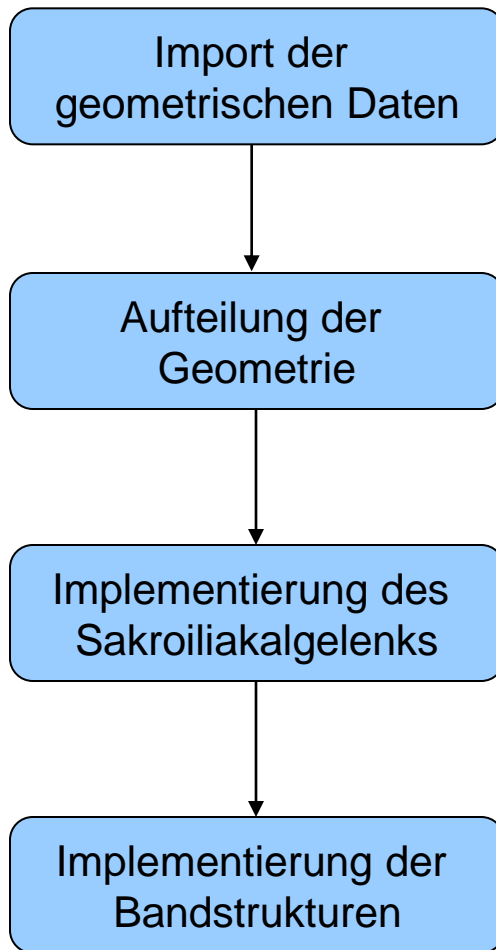
- ventrale Krafteinleitung auf die Symphyse
(1 männliches, 1 weibliches Becken)
- laterale Traktion an den Symphysenrändern
(Os pubis, 3 männliche, 3 weibliche Becken)

Anatomische und klinische Untersuchung durch

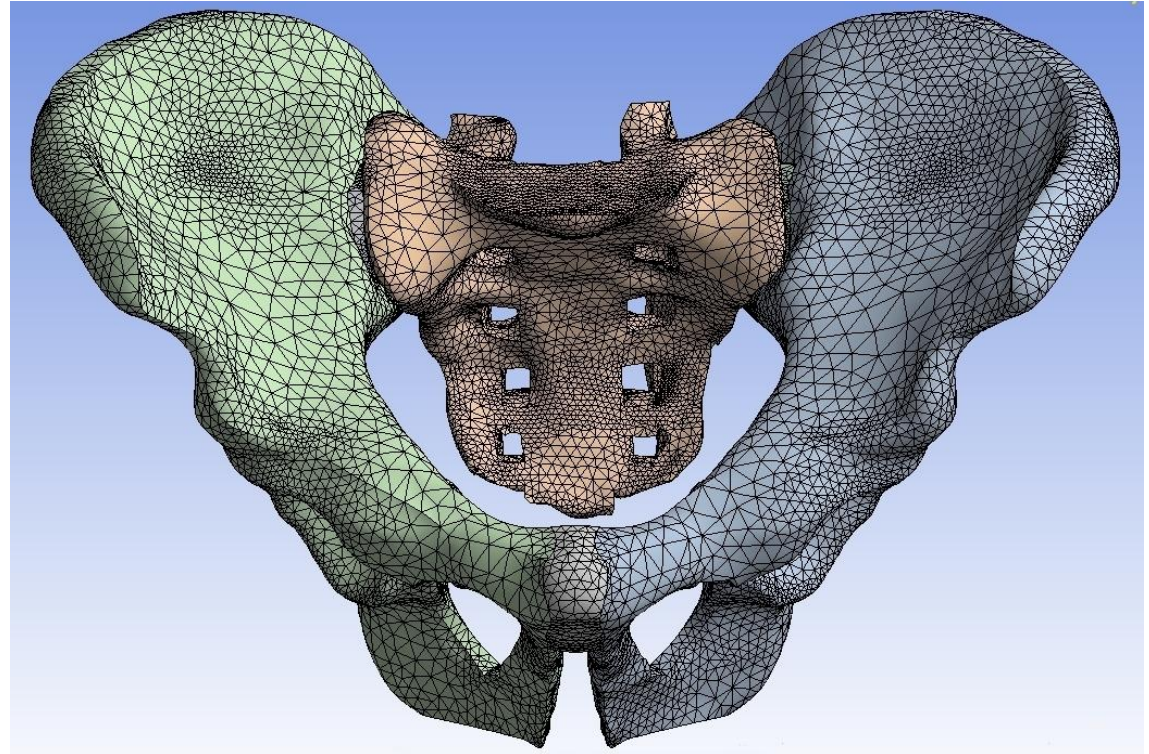
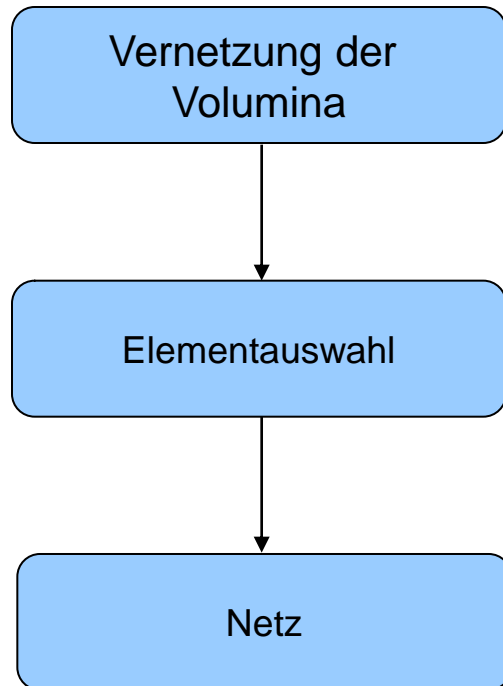
- Präparation
- Dünnschnittplastination
- Arthroskopie des Kreuzdarmbeingelenks
- CT



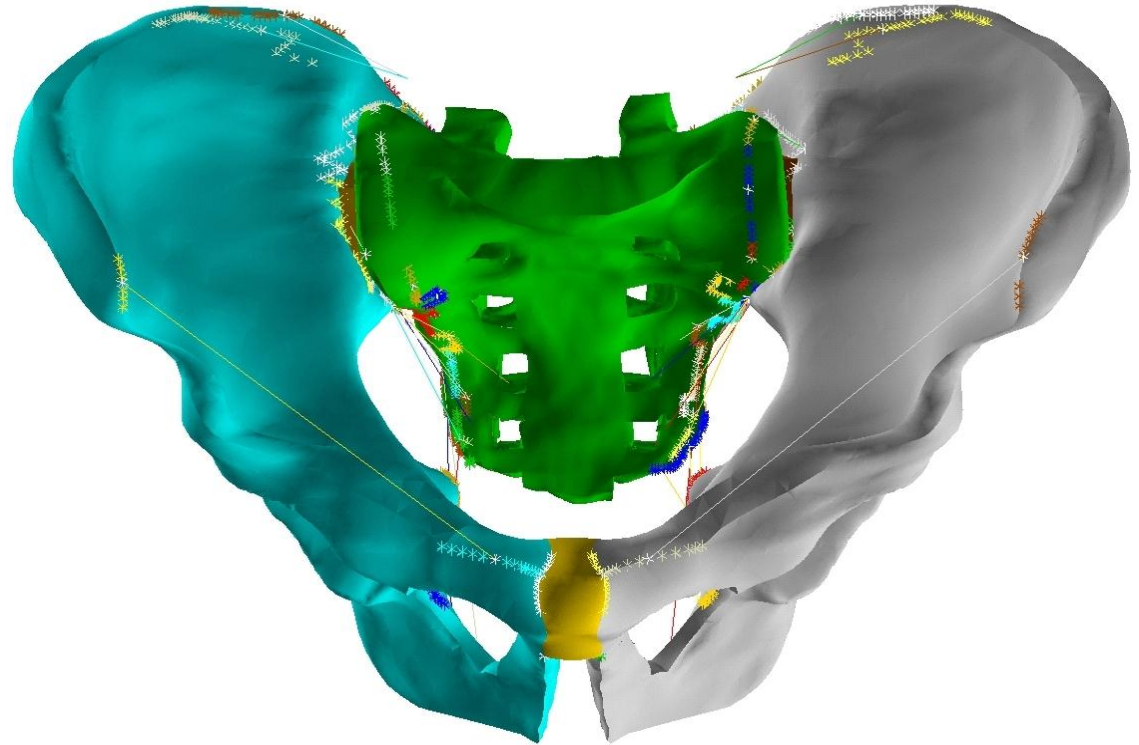
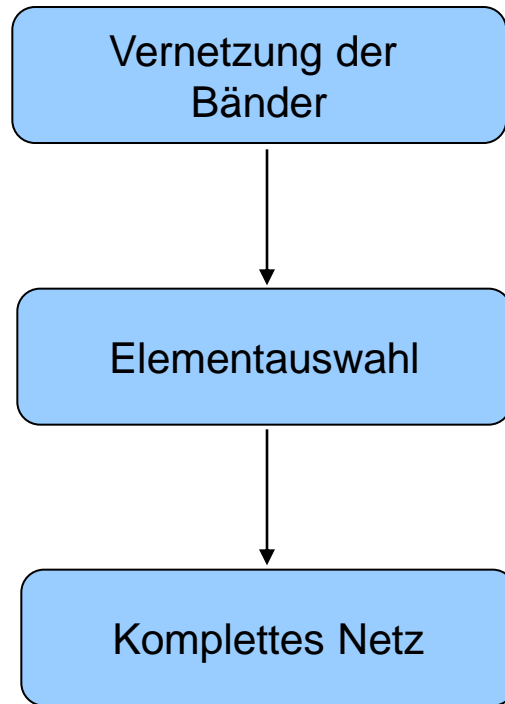
Finite Elemente Modell I (Ansys®): Geometrie



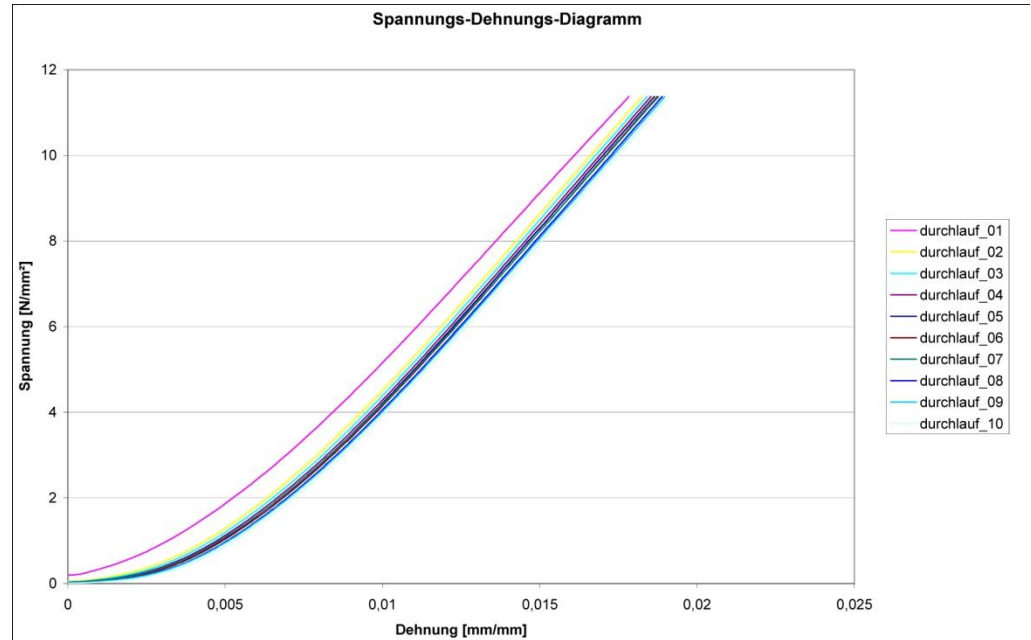
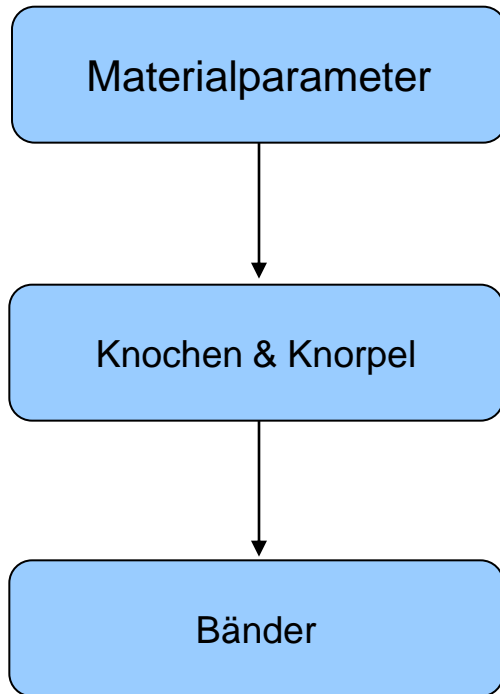
Finite Elemente Modell II: Vernetzung



Finite Elemente Modell III: Implementierung der Bänder



Finite Elemente Modell IV: Materialeigenschaften



Anzahl Proben	Mittelwert der Emoduli [N/mm ²]	Standardabweichung [N/mm ²]	95 % Konfidenzintervall	
			Untere Grenze	Obere Grenze
13	397,25	151,51	305,69	488,81

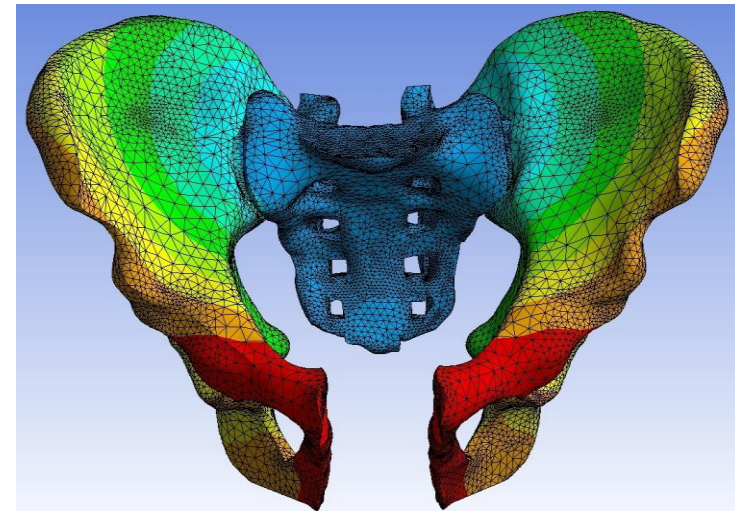
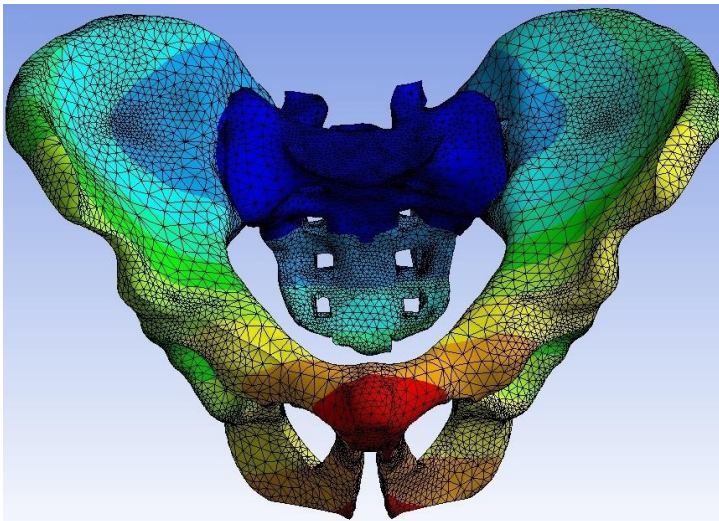
Finite Elemente Modell V: Randbedingungen

- feste Auflagerung des Oberrandes des Sakrums (ÜG L5-S1)

Zweibeinstand: Lasteinleitung
in den Hüftpfannen: $F = 800\text{ N}$
Gewichtskraft

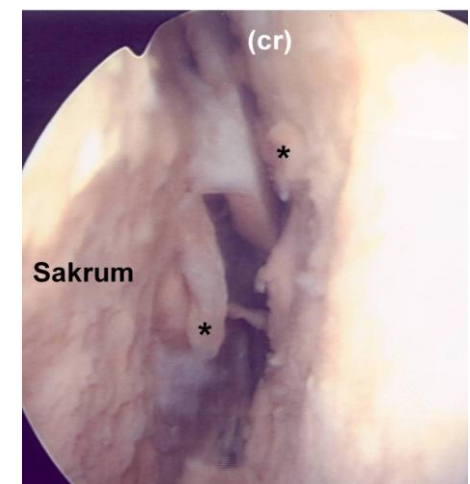
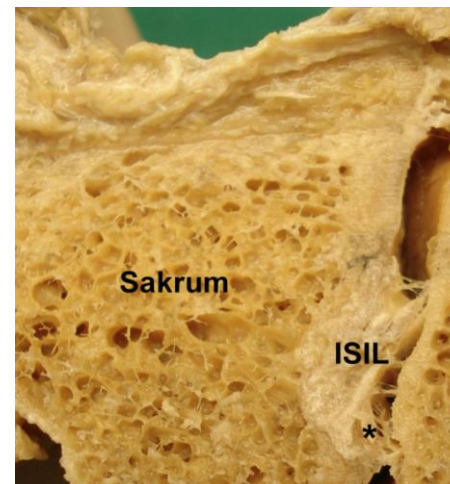
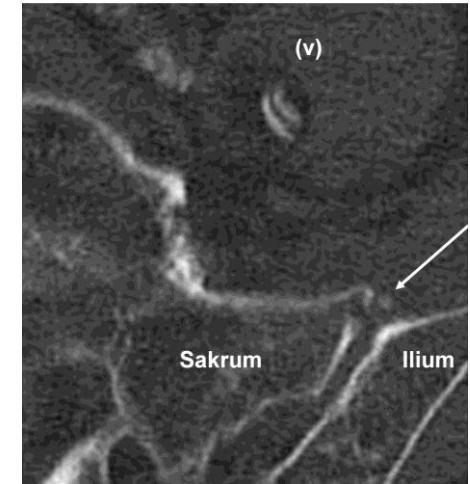
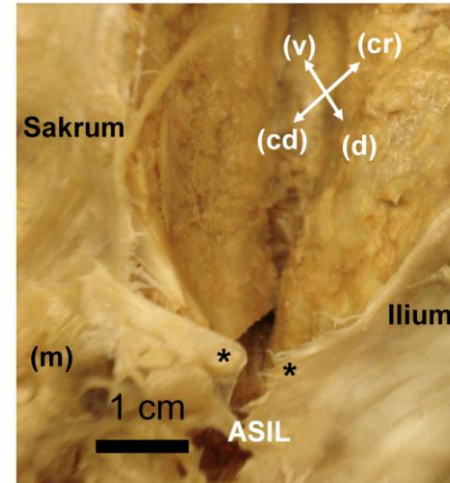
OB: vordefinierte

Symphysendehiszenz von 1 cm



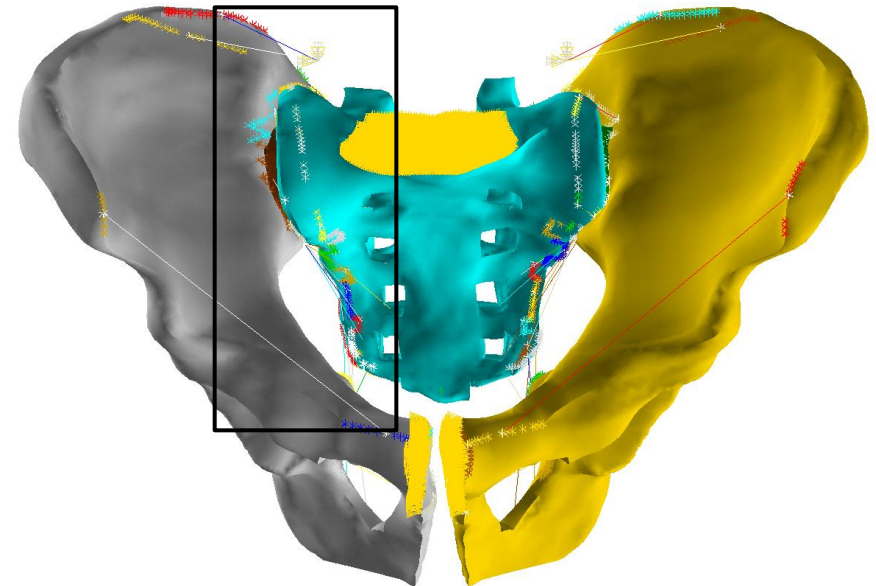
Biomechanischer Bruchversuch

- Ruptur kranialer Anteile der Ligg. sacroiliaca anteriora
- Ruptur kranioventraler Anteile der Ligg. sacroiliaca interossea (bestätigt in Arthroskopie und Präparation)
- Fraktur eines distalen Anteils männlicher Kreuzbeine (bestätigt durch CT-Bildgebung)
- Rückstellung der Symphysenfuge auf ~ 10 mm



FE-Simulation: Beteiligung der Ligamente im Lastfall Open Book

Band	Beteiligung in %
Lig. iliolumbale	0,00
Lig. inguinale	0,32
Lig. pubicum superius	0,00
Lig. pubicum inferius	0,00
Membrana obturatoria	0,00
Lig. sacroiliacum ant.	80,44
Lig. sacroiliacum int.	1,23
Lig. sacroiliacum post.	1,13
Lig. sacrotuberale	16,88
Lig. sacrospinale	0,00



FE-Simulation: Beteiligung der Lig. sacroiliaca ant. bei OB

Beteiligung (%)

2,87

10,55

58,44

18,84

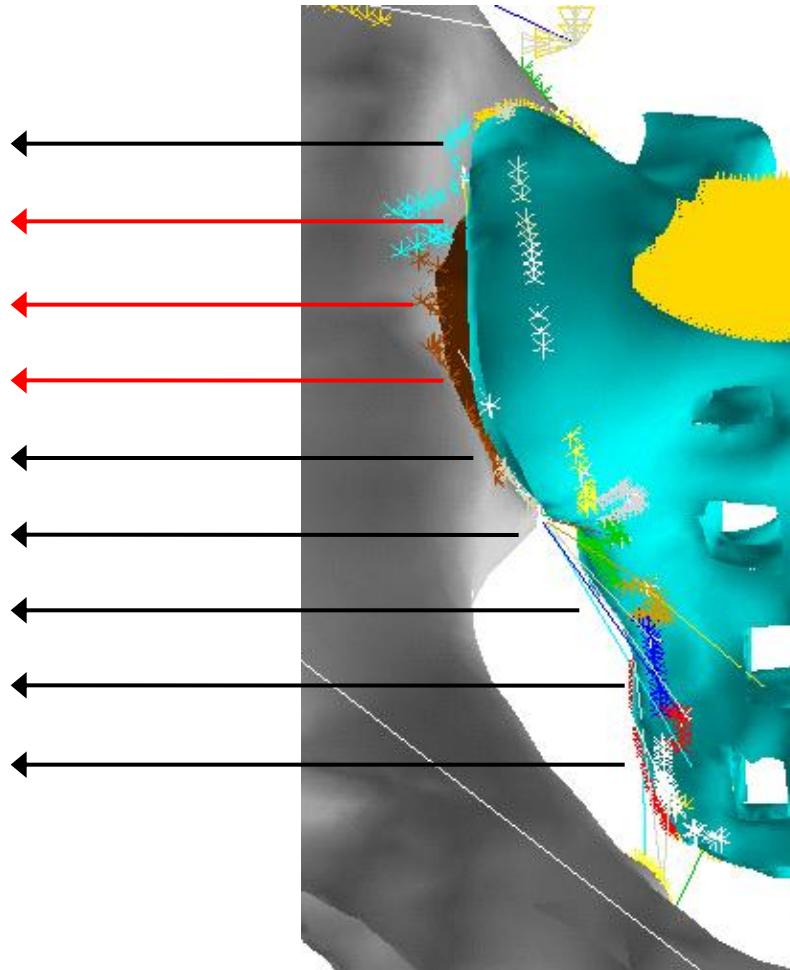
4,83

2,28

1,12

0,86

0,20

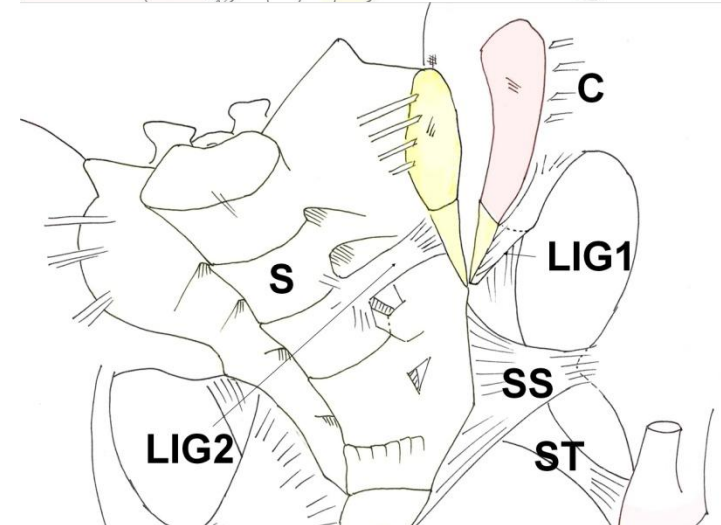
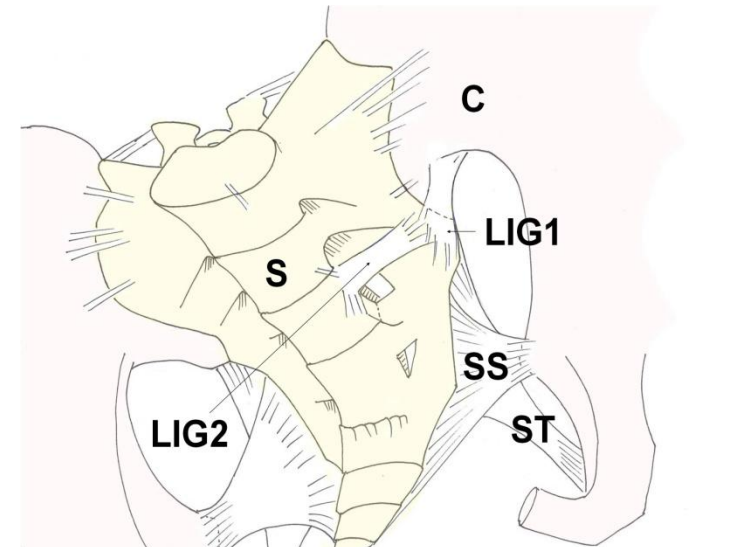


FE-Simulation: Instabilität nach OB

Band	Zweibein- stand (%, vor OB)	OB Instabilität (%)	Zweibein- stand (%, nach OB)
Lig. iliolumbale	14,72	0,00	17,03
Lig. inguinale	0,00	0,32	0,00
Lig. pubicum sup.	0,00	0,00	0,00
Lig. pubicum inf.	0,00	0,00	0,00
Membrana obturatoria	0,12	0,00	0,14
Lig. sacroiliacum ant.	12,95	80,44	0,50
Lig. sacroiliacum int.	3,57	1,23	5,13
Lig. sacroiliacum post.	1,10	1,13	1,58
Lig. sacrotuberale	28,12	16,88	30,81
Lig. sacrospinale	39,42	0,00	44,81

Biomechanischer Kadaverversuch

- Ruptur kranialer Anteile der Ligg. sacroiliaca anteriora und kranioventraler Anteile der Lig. sacroiliaca interossea
- Rückstellkräfte durch Ligg. sacrotuberale und sacrospinale verursacht
- zusätzliche Bandstrukturen, die das Sakrum mit dem Ilium verbinden (LIG1 und LIG2)
 - Scherwirkung auf das kaudale Sakrum als Frakturursache
- geschlechtsspezifische Unterschiede:
 - Beckengeometrie und Inklination des Kreuzbeins

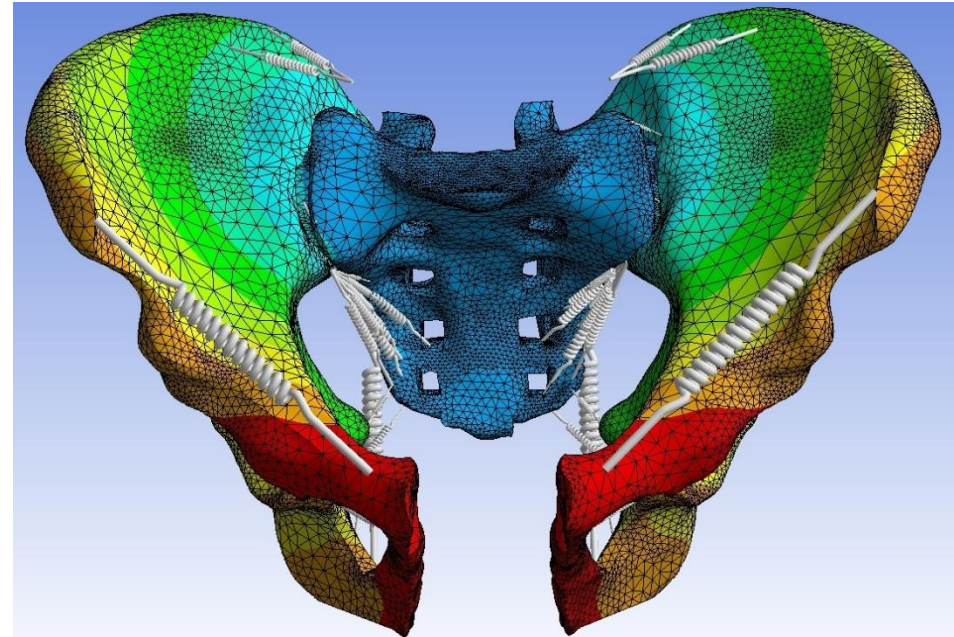


FE-Simulation: OB und Folgezustände

Die größte Beanspruchung ist in kranialen Anteilen der Ligg. sacroiliaca ant.

Dies führt zu einer konsekutiven Instabilität bei Materialversagen...

... und resultiert in einer Umverteilung der Lastableitung. Dies führt zu einer höheren Belastung der Ligg. iliolumbale, sacroiliacum int., sacrotuberale, und -spinale.



- Stabilisierung des Kreuzdarmbeingelenks durch Bandstrukturen
- Umverteilung des Lastabtrags post OB
- Sakrumfraktur bei OB über Zug erklärbar



- Beobachtungen der Kadavertestungen stimmen mit der FE-Simulation überein

