

Abstract: Cyclic deformation and fatigue behaviour in cancellous bone

Sebastian Dendorfer

Das Ermüdungsverhalten von Materialien ist von grosser Bedeutung für die Beurteilung des Versagensrisikos von Bauteilen und Strukturen die zyklischer Belastung ausgesetzt sind. In Analogie zu technischen Bauteilen können Ermüdungsschäden auch bei Knochen beobachtet werden. Im Gegensatz zu kortikalen Knochen, bei dem das Ermüdungsverhalten weitgehend untersucht ist existieren nur sehr wenige Daten für spongiösen Knochen. In allen verfügbaren Studien wurde die starke Anisotropie der Knochenstruktur nicht berücksichtigt und nur Proben entlang der physiologischen Achse verwendet. Weiter ist der Einfluss von verschiedenen Spongiosa-Arten (human, bovin) sowie des Alters noch nicht geklärt. In dieser Studie wurden sieben Gruppen von Spongiosaprobe, insgesamt 108 Proben, unterschiedlich bezüglich der Spezies (human, bovin), des Entnahmeortes (Wirbelkörper, distale Femurkondyle) sowie der Abweichung von der physiologischen Hauptachse hinsichtlich des Verformungsverhaltens unter zyklischer Druckbelastung untersucht. Neben der Analyse des integralen Materialverhaltens wurde ein optisches Verformungsmesssystem verwendet, mit dessen Hilfe die Entwicklung von Dehnungen auf der Probenoberfläche sowie auf Knochenbälkchenebene gemessen wurde. Proben deren Hauptachse nicht mit der physiologischen Hauptachse übereinstimmte zeigten stark reduzierte Lebensdauern. Ebenso haben Spezies sowie der Entnahmeort einen grossen Einfluss auf das Ermüdungsverhalten. Dies war auch der Fall wenn die unterschiedlichen Anfangssteifigkeiten der Proben berücksichtigt wurden. Die Rinderproben zeigten eine höhere Ermüdungsfestigkeit als die menschlichen Proben. Die Lebensdauern reduzierten sich mit grösseren Abweichungen von der physiologischen Hauptachse. Bereits kleine Winkelabweichungen resultierten in einem starken Abfall der Ermüdungsfestigkeit, bei Abweichungen grösser 45° wurden annähernd gleiche Lebensdauern gemessen. Die Versagensdehnungen sind ebenfalls gruppenabhängig und steigen mit steigender Abweichung von der Hauptachse. Das zyklische Verformungsverhalten konnte ebenso wie die Entwicklung der integralen Schädigung in Abhängigkeit der normalisierten Spannung (σ/E_0) und der Gruppenzugehörigkeit dargestellt werden. Die entsprechenden mathematischen Zusammenhänge wurden abgeleitet. Verschiedene Schädigungsmechanismen wurden für die Gruppen parallel zur Hauptachse und die Gruppen mit Abweichungen von der Achse gefunden. Das Alter der Spender hatte einen grossen Einfluss auf die Anfangssteifigkeit der Proben und somit auf das zyklische Verformungsverhalten sowie die Lebensdauern. Ein weiterer Einfluss des Alters konnte jedoch nicht gezeigt werden. Die optische Verformungsmessung konnte erfolgreich auf die spongiösen Proben angewendet werden. Die hierbei gefunden lokalen Dehnungskonzentrationen, sowohl auf der (integralen) Probenoberfläche als auch auf der Oberfläche einzelner Trabekel konnten mit dem integralen Verformungsverhalten korreliert werden. So kann gezeigt werden, dass die Entwicklung bleibender Verformungen direkt mit der Bildung und dem Wachstum von Mikrorissen verknüpft ist. Zusammenfassend konnte der starke Einfluss der verschiedenen Spongiosa-Arten auf die Versuchsergebnisse gezeigt werden. Bereits geringe Abweichungen von der physiologischen Haupt-

achse resultieren in einer starken Abnahme der Ermüdungsfestigkeit. Bedingt durch den Anstieg der Anisotropie in älteren Knochen wird dieser Effekt noch weiter verstärkt. Deshalb ist gerade bei der Abschätzung des klinischen Versagensrisikos die Berücksichtigung von Strukturkennwerte unabdingbar um die Genauigkeit der Methoden zu erhöhen. Mit den abgeleiteten Funktionen für die Entwicklung der Verformungen sowie der Schädigung und zyklischer Belastung stehen wichtige Werkzeuge zur Verfügung, welche direkt in numerischen und analytischen Studien verwendet werden können.