

Tribological Characterization and in-silico wear assessment of lower limb joint prosthesis

Abstract della tesi

Le articolazioni dell'anca e del ginocchio sono le principali nel corpo umano e hanno il compito di sostenere carichi pesanti. Questo compito è normalmente ben eseguito da un'articolazione sana, ma, in alcuni casi, l'insorgere di malattie può influire sulla funzionalità dell'articolazione: quando l'ambulazione è limitata, si rende necessario un intervento chirurgico.

Sebbene l'ortoprotesi è una delle procedure chirurgiche più efficaci e di successo nella medicina moderna, circa il 10% dei dispositivi impiantati è destinato al fallimento e quindi richiederà un secondo intervento chirurgico. L'operazione di revisione è una procedura difficile che richiede una lunga pianificazione prima dell'intervento.

Attualmente, le protesi articolari dell'anca e del ginocchio vengono analizzate e sottoposte a differenti test prima di ricevere l'approvazione necessaria per l'uso clinico. Questi test sono eseguiti allo scopo di stabilire il comportamento della protesi, ad esempio valutarne il tasso di usura e la finitura superficiale. Tuttavia, i test di usura tramite simulatore sono lunghi e costosi dato l'elevato numero di cicli a bassa frequenza che deve essere eseguito. L'idea era di passare a una valutazione dell'usura in-silico.

Per definire quali sono i parametri più influenti sulla tribologia degli impianti è stato studiato il Metal Transfer. Si tratta di un fenomeno di migrazione delle particelle metalliche sulle teste femorali e sulle coppe acetabolari delle protesi dell'anca, che comporta un'importante alterazione della superficie del cuscinetto. La presenza di metallo sulle teste in ceramica ne modifica le proprietà superficiali e quindi influenza la lubrificazione, l'attrito e l'usura. Sono state studiate 35 teste di ceramica di diversi materiali, tra cui zirconia, Biolox® Delta, Biolox® e Biolox® Forte. Sensibili differenze nelle caratteristiche superficiali tra le aree colpite e quelle non colpite sono state riscontrate, come prova del fenomeno.

Siccome in letteratura si possono trovare diversi modelli di usura che introducono la distribuzione della pressione di contatto come dato di input, uno scopo del lavoro è stato quello di sviluppare un modello agli elementi finiti dell'articolazione dell'anca, per il calcolo dello stato tensionale su di una coppa acetabolare. Il modello proposto consiste in una protesi *hard-on-soft*: testa metallica e coppa in polietilene.

Da un'analisi multibody, sono state acquisite le forze e le rotazioni che si realizzano sulle articolazioni dell'anca e del ginocchio. L'analisi dell'andatura è stata utilizzata per valutare la camminata umana, risolvendo un problema di dinamica inversa. È stata studiata l'influenza della distribuzione del carico sulle protesi di ginocchio, per valutare se fosse causa di una diversa usura e finitura superficiale dei menischi.

Le forze e il movimento dell'articolazione dell'anca sono state utilizzate come parametri di input per definire il carico dinamico del modello ad elementi finiti. La testa del femore è stata modellata come un corpo rigido, mentre per la coppa acetabolare è stato selezionato il materiale UHMWPE. Si è presunto che il materiale in questione fosse omogeneo, isotropico e linearmente elastico. Sono stati analizzati due casi di studio: contatto a secco e lubrificazione limite, che sono

individuati da un diverso coefficiente di attrito (ricavato da indagini sperimentali). Inoltre, è stata studiata l'influenza della presenza del gioco radiale sulla distribuzione delle tensioni. Lo stato di sollecitazione ottenuto può essere applicato alla valutazione dell'usura della coppa. L'usura lineare in qualsiasi punto della superficie durante il ciclo del passo è stata derivata dal modello di usura di Archard.

Abstract of the thesis

Hip and knee articulations are the main joints in human body and they have the duty of sustaining heavy loads. This task is normally well performed by a healthy joint but, in some cases, the occurrence of diseases can affect the functionality of the joint: when ambulation is limited, surgery is required.

Even if the orthoprosthesis is one of the most effective and successful surgical procedure in the modern medicine, around the 10% of the implanted devices will fail and so require a second surgery. The revision operation is a difficult procedure which needs a long scheduling prior to surgery.

Currently, hip and knee joint prostheses are analysed and subjected to simulation tests before receiving the required approval for clinical use. These tests are performed with the aim of establish the behaviour of the prosthesis, assess the wear rate of the components and the surface finishing. However, wear tests on a simulator are long and expensive due to the large number of cycles at low frequency that must be executed. The idea was to move toward an in-silico wear assessment.

In order to define which are the most influencing parameters on the tribology of the implants it was investigated the Metal Transfer. It is a migration phenomenon of metal particles found on femoral heads and on acetabular cups of retrieved ceramic hip prostheses, which implies an important alteration of the bearing surface. The presence of transferred metal on ceramic heads changes the surface properties and thus affects lubrication, friction and wear. They were studied 35 ceramics femoral heads of different materials, including zirconia, *BioloX® Delta*, *BioloX®* and *BioloX® Forte*. Differences in surface characteristic appear, as an evidence of the phenomenon, between the affected and unaffected areas.

As in literature they can be found several wear models introducing contact pressure distribution as input data, an aim of the study was to develop a finite elements model of the hip joint, for the calculation of the stress map on the acetabular cup. The proposed model consists of a hard-on-soft implant (metal head and polyethylene cup).

From a multibody analysis, they were gained the forces and the rotations taking place on the articulations of the hip and the knee. The *Gait Analysis* was used to assess the human gait, reached by solving the *Inverse Dynamics Problem*. It was studied the influence of the load distribution on knee implants, to assess if it causes a different wear and surface topography on the menisci.

The forces and motion of the hip joint were used as input parameters to define the dynamic loading of the finite element model. The femoral head was modelled as a rigid body, whereas for the acetabular cup it was selected the UHMWPE material. The material is assumed to be homogenous, isotropic and linearly elastic. Two cases of studies were analysed, the dry and the

boundary lubricated contacts, which are discerned by a different friction coefficient gained by experimental investigations. Furthermore, it was investigated the influence of the radial clearance presence on the stress distribution. The stress state obtained can be applied to the evaluation of the cup wear. The linear wear at any point on the surface along the gait cycle was derived by Archard's wear model.