

Blomed. Techn.  
21 (1976), S. 66-74

Dhanjoo N. Ghista  
Theodore G. Toridis  
T. M. Srinivasan

## Human Gait Analysis: Determination of instantaneous joint reactive forces, muscle forces and the stress distribution in bone segments Part II

Analyse des menschlichen Ganges: Bestimmung der momentanen Gelenkkräfte, der Muskelkräfte und der Spannungsverteilung in Knochensegmenten Teil II

*From the Biomedical Engineering Division,  
Indian Institute of Technology, Madras-600036  
and Department of Civil, Mechanical and Environmental Engineering,  
The George Washington University, Washington D. C., USA*

This paper presents a rigorous analysis of human gait and resulting skeletal stresses of the lower limbs. The data monitoring and subsequent utilisation procedures of the quantities needed to help formulate the kinematics and kinetics terms, that are employed in the dynamics equations governing the motion of a limb during gait, are first presented. In the governing equations of limb motion, due attention is paid to the formulation of the inertia terms in appropriate rigor, which has not been done hitherto. The analysis of the entire leg and below-knee leg portions are presented taking into account the indeterminacy of the force system; methods are presented for the determination of the unknown joint reactions and muscle forces. Then, employing the joint reactions and muscle forces as known quantities, a finite element analysis is presented to determine the instantaneous stress states in the lower limb skeleton during gait.

Der Beitrag bringt eine exakte Analyse des menschlichen Ganges und der resultierenden Skelett-Beanspruchungen der unteren Extremitäten. Einleitend werden die Datenerfassung und die nachfolgende Auswertung derjenigen Größen dargelegt, die zur Formulierung der kinematischen und kinetischen Randbedingungen in den dynamischen Bestimmungsgleichungen der Extremitätenbewegung beim Gehen erforderlich sind. Bei der Formulierung der Bestimmungsgleichungen für die Beinbewegung werden die Trägheitskräfte konsequent berücksichtigt, was bisher nicht getan wurde. Bei der Analyse des gesamten Beines und des Unterschenkel-Teiles wird der Unbestimmtheit des Kräftesystems Rechnung getragen. Die Methoden zur Ermittlung der unbekanntenen Gelenk- und Muskelkräfte werden beschrieben. Anschließend wird unter Verwendung dieser Kräfte als bekannte Größe eine Finit-Element-Analyse der momentanen Spannungszusätze im Skelettsystem der unteren Extremität durchgeführt.

### 3. Analysis for the determination of joint and muscle forces

#### 3.1 Dynamic analysis for the entire leg

Let us consider a free body (dynamic equilibrium) analysis of the entire leg. We have the following force systems acting on it (figure 11):

1. The known ground reaction forces  $\underline{R}$  acting at the point G, whose position vector with respect to the ground reference frame is  $\underline{g}$ ; the known ground reaction moment is  $\underline{M}$ .
2. The weights  $\underline{W}^F, \underline{W}^S, \underline{W}^T$  of the foot, shank and thigh acting at  $F^*, S^*$  and  $T^*$ .
3. The known instantaneous inertia forces  $\underline{F}^F, \underline{F}^S, \underline{F}^T$  acting on the foot, shank and thigh at their mass centers at  $F^*, S^*$  and  $T^*$ , respectively, in the ground reference frame.

4. The known instantaneous torques of the inertia couples  $\underline{T}^F, \underline{T}^S, \underline{T}^T$  acting on the foot, the shank and the thigh.

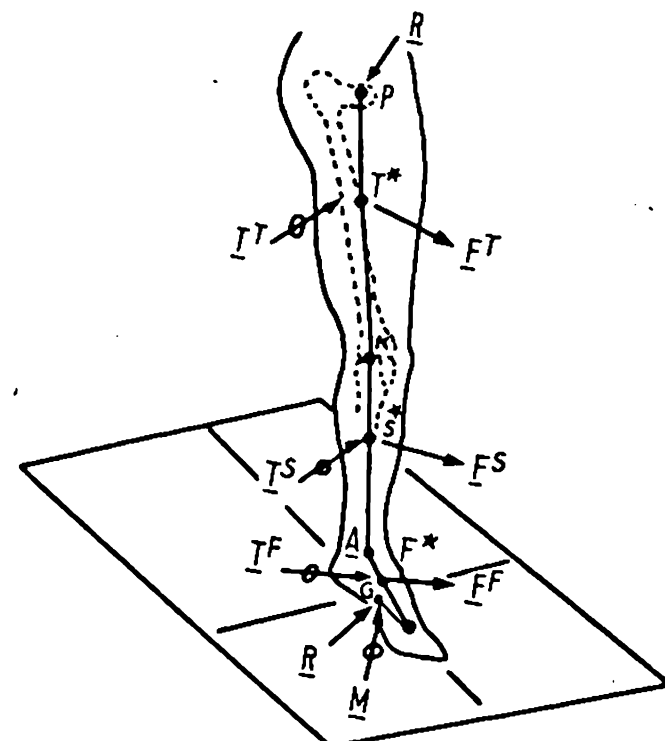


Figure 11. Dynamic equilibrium of the entire leg; enumeration of the force systems acting on it