

式(3)で求めた、図3に示す*j*番目の関節まわりの*i*番目の筋肉により発生する駆動トルク $M_{i,j}$ から、式(4)に示す運動方程式が求まる。

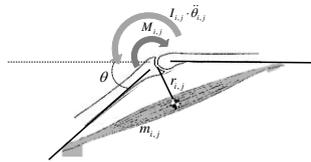


Fig. 3 Driving torque around the joint

$$I_{i,j} \cdot \ddot{\theta}_{i,j} = M_{i,j} \quad (4)$$

ここで、 $I_{i,j}$ は *j* 番目の関節まわりに対する *i* 番目の筋肉における慣性モーメント、 $\ddot{\theta}_{i,j}$ は *j* 番目の関節まわりに対する *i* 番目の筋肉における角加速度を示す。この時、慣性モーメント $I_{i,j}$ は *i* 番目の筋肉の質量 m_i と *i* 番目のモーメントアーム長 r_i により式(5)から求まる。また本来、慣性モーメント $I_{i,j}$ は関節の屈曲や伸展によって変化するが、本研究では一定とする。

$$I_{i,j} = m_i \cdot r_i \quad (5)$$

次に、式(4)の両辺を運動の1周期にあたる $t_1 \sim t_2$ で定積分すると式(6)となり、式(6)の左辺を整理すると角運動量を示す式(7)が得られる。

$$I_{i,j} \int_{t_1}^{t_2} \ddot{\theta}_{i,j} dt = \int_{t_1}^{t_2} M_{i,j} dt \quad (6)$$

$$I_{i,j} \cdot \dot{\theta}(t_2) - I_{i,j} \cdot \dot{\theta}(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} M_{i,j} dt \quad (7)$$

2・4 肘関節まわりの駆動パワー

関節まわりの駆動トルク $M_j(\theta)$ を運動の1周期 $t_1 \sim t_2$ にあたる関節角度 $\theta_1 \sim \theta_2$ で定積分し、その定積分した値の運動の1周期にあたる $t_1 \sim t_2$ で割ることで、肘関節まわりの駆動パワー P_j を求めることが出来る。その P_j を求める式を式(8)に示す。

$$P_j = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{\theta_1(t_1)}^{\theta_2(t_2)} M_j(\theta) d\theta \quad (8)$$

3 価値と有用性

本研究では膝関節の基本動作にあたる膝関節伸展・屈曲動作の解析結果を示す。まず、膝関節まわりの駆動パワーを図4に示す。



Fig.4 Driving Power around knee joints

図4から、右足の駆動パワーは左足よりも、上げ動作では約1.4倍、下げ動作では約1.2倍大きいことがわかる。また、上げ動作の駆動パワーは下げ動作よりも、左足では約1.3倍、右足では約1.5倍大きいことがわかる。

次に、膝関節まわりの各筋肉における角運動量を図5に示す。

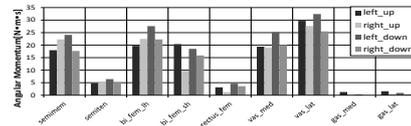


Fig.5 Angular momentum of muscles around knee joint

図5から、膝関節まわりの筋肉では *vas_lat* と示している外側広筋の角運動量が最も大きくなったことがわかる。また、左側の外側広筋は右側よりも上げ動作では約1.1倍、下げ動作では約1.2倍大きいことがわかる。

次に、上記の結果を考察するため、外側広筋の筋トルクと膝関節角度を図6に示す。なお、実線が筋トルクで点線が関節角度を示している。

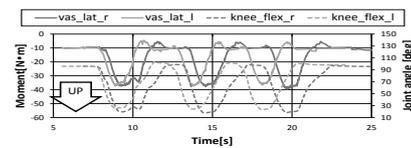


Fig.6 Muscle torque and knee joint angle

図6から、膝関節が最も伸びている時に外側広筋の筋トルクが最大になっていることがわかる。さらに、その時における右側の筋トルクは左側よりも大きいことがわかる。よって、膝関節伸展・屈曲動作に対して、膝関節まわりの筋肉では外側広筋が最も大きく、膝関節が最も伸びている時にその筋肉の負担が最大になることが考えられる。

4 結論

従来の解析手法である筋トルクと筋活性度に関節まわりの駆動パワーと各筋肉における角運動量を併用することで、関節、筋肉、動作に対する定量的な解析が可能になることがわかった。

今後は、フォースプレートや筋電計を含めた考察もしていきたいと考えている。

参考文献

- (1) 金俊東・久野譜ら：加齢による下肢筋量の低下が歩行能力に及ぼす影響。体力科学 49, pp.589~596.2000
- (2) 露木美波ら：膝関節まわりの駆動パワーと角運動量解析による足の上下運動に対する考察。第27回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, No.14-67, pp.529-530.2015
- (3) F. E. Zajac. :Muscle and tendon: Propenies, models, scaling, and application to biomechanics and motor control," in CRC Critical application to biomechanics and motor control," in CRC Critical vol. 17. Issue4. pp. 359-411, 1989
- (4) Delp S., Loan P., Hoy M., Zajac F. E., Fisher S., Rosen J.:An interactive graphics-based model of the lower extremity to study orthopaedic surgical procedures, IEEE Trans. on Biomedical Engineering, 37 (8) , pp.757-767, 1990.