

周期動作の効率化によるランニングフォームの生成

Efficient Running form with cyclic motion

○ 山本直弥 (立命館大) 野方誠 (立命館大)

Naoya YAMAMOTO, Ritsumeikan University

Makoto NOKATA, Ritsumeikan University

Abstract: The purpose of this study was to generate a running form that can continue with less energy consumption. At that time, we pay attention to the cycle operation of running form in order to take advantage of the external force by the muscles, the trajectory of the lower limbs each section, the spring property in joint effectively. In this study, the lower leg part is replaced to the dynamic model. Rotational or translational force of the dynamic model is computed by solving the kinetic equations numerically and the energy consumption is considered to be equivalent to the value of torque.

Key Words: Running form, Spring property, Cycle operation, Energy consumption

1. 研究背景

近年日本において健康維持や体力向上などへの関心の高まりからマラソン大会に参加する人が増加しており、ランナーの中にはよりタイムを向上させるべく日々トレーニングに打ち込む人々も存在する。完走タイムの向上のためには効率的な動作によって消費エネルギーを抑えた走行が重要である。

ランニングフォームに関する研究としては、関節角度、ピッチ、ストライド、体の各部分の軌道に着目したものが存在する⁽¹⁾。しかし、ジャンプの繰り返し動作を行うランニングでは、消費エネルギーを考える上で、関節部分の力学要素による影響は無視できない。そこで本研究では、関節部分に存在する弾性や粘性の影響に着目し、それらの要素を有効に利用することで、より少ない投入エネルギーでランニングの周期動作が持続できるようなフォームを考える。その際に、筋肉によって与えるエネルギーや下肢各部分の軌跡なども考慮する。

2. 研究目的

本研究の目的は、消費エネルギーの少ないランニングフォームを生成することである。人間の下肢部分の片足に注目し、その機構を単純化した力学モデルに置き換える。力学モデルには回転関節を有する2リンク機構を使用し、膝関節にあたる部分に、ばね、ダンパを付け加えることで粘弾性をもたせる。作成した力学モデルの運動方程式を導出し、それを数値的に解くことで力学モデルの挙動を観察する。その際、回転関節部分の回転トルクが筋肉によって加えられた外力であると考え、それを計算することで消費エネルギーを評価する。理想的なランニングフォームを生成した後、実際にそのフォームで走行し、そのときに摂取された酸素量を計測しエネルギー消費量を調べ、数値解析で計算したものと比較する。

3. 膝関節に粘弾性を含める下肢のモデル化

3-1 力学モデルの運動方程式

使用する力学モデルの概観を図1に示す。足首関節部分は回転関節に置き換えられている。足首部分の回転関節部分は足裏が地面に接地している時間(立脚期)を再現しており、固定された状態になっている。下腿部分をリンク1、大腿部分をリンク2とする。

Table 1 Link parameter

Name	Letter	Name	Letter
Mass	m_i	Length of link	L_i
Angle	θ_i	Length between link I to center of mass i	L_{Ci}
Angular Velocity	$\dot{\theta}_i$	Moment of inertia	I_{Ci}
Elasticity	k	Rotation torque	τ_i
Viscosity	c		

モデルのパラメータを Table 1 に示す。リンク1, リンク2の質量をそれぞれ m_1, m_2 とし、慣性モーメントを I_{C1}, I_{C2} とする。関節部分のばね特性を k , ダンパ特性を c とする。第1リンクと x 軸との角度を θ_1 , 第2リンクと第1リンクとの角度を θ_2 とする。

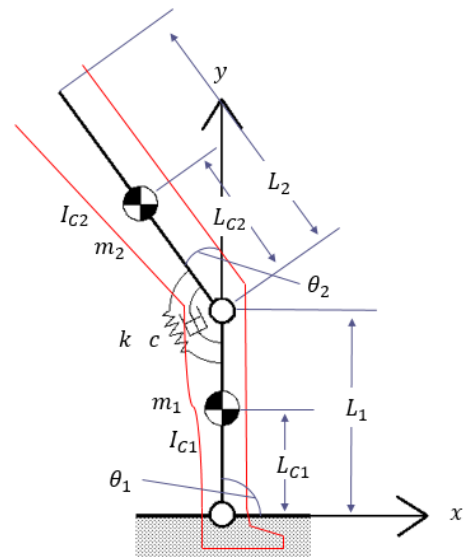


Fig. 1 Translational joint with spring and damper

第1リンク, 第2リンクの運動エネルギー K_1, K_2 はそれぞれ以下のように表される。

$$K_1 = \frac{1}{2} m_1 \dot{p}_{C1}^T \dot{p}_{C1} + \frac{1}{2} I_{C1} \dot{\theta}_1^2 \quad (1)$$

$$K_2 = \frac{1}{2} m_2 \dot{p}_{C2}^T \dot{p}_{C2} + \frac{1}{2} I_{C2} (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 \quad (2)$$

ポテンシャルエネルギー P_1, P_2 は

$$P_1 = m_1 g L_{C1} S_1 \quad (3)$$

$$P_2 = m_2 g (L_1 S_1 + L_{C2} S_{12}) + \frac{1}{2} k (\theta_2 - \theta_o)^2 \quad (4)$$

ラグランジュアン L は

$$L = K_1 + K_2 - P_1 - P_2 \quad (5)$$

で求められる。また、散逸エネルギーを D とすると

$$D = \frac{1}{2} c \dot{\theta}_2^2 \quad (6)$$

ラグランジュアン L と散逸エネルギー D を以下のラグランジュアンの運動方程式に代入すると

$$\tau_1 = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_1} \quad (7) \quad \tau_2 = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_2} + \frac{\partial D}{\partial \dot{\theta}_2} \quad (8)$$

回転トルクと並進力に関する運動方程式を導くことが出来る。

$$\begin{aligned} \tau_1 = & (m_1 L_{C1}^2 + m_2 L_{C2}^2 + I_{C1} + I_{C2} + m_2 L_1^2 + 2m_2 L_1 L_{C2} C_2) \ddot{\theta}_1 \\ & + (m_2 L_{C2}^2 + I_{C2} + m_2 L_1 L_{C2} C_2) \ddot{\theta}_2 \\ & - m_2 L_1 L_{C2} S_2 (2\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2) + (m_1 L_{C1} C_1 + m_2 L_1 C_1 + m_2 L_{C2} C_{12}) g \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \tau_2 = & (m_2 L_{C2}^2 + m_2 L_1 L_{C2} C_2 + I_{C2}) \ddot{\theta}_1 + (m_2 L_{C2}^2 + I_{C2}) \ddot{\theta}_2 \\ & + m_2 L_{C2} C_{12} g + m_2 L_1 L_{C2} S_2 \dot{\theta}_1^2 + k (\theta_2 - \theta_o) + c \dot{\theta}_2 \end{aligned} \quad (10)$$

3-2 力学モデルの数値計算

導出した運動方程式を数値的に計算するにはさらに初期値、粘弾性、入力トルクの設定を行う必要がある。

現段階で計算を行う動作は立脚期のみを想定しており、初期値は足裏が地面に接地した瞬間の状況を元に決定する。設定する初期値は回転角度、回転速度、の2種類である。

4. 今後の展望

膝関節部分の粘弾性は、文献を参考にアクティブ粘弾性を推定し、モデル化した研究⁽²⁾を参考にする。

入力トルクの設定については、現段階では具体的な入力方法は決定できていない。入力トルクの決定の際は人間が出力可能な値を設定する必要がある。関節角度や関節速度によって筋肉によって加えられる関節トルクをどう変化させるのかを、実際に人間の走行時に加えられるモーメントを計測したデータを参考に、人間が出力可能な外力として妥当な力の入れ方をさせる必要がある。

参考文献

- (1) 松村勲, 永田宏一郎, 松尾彰文, 西菌秀嗣, 一流長距離選手の競技力アップに向けたランニングフォームのチェック, スポーツトレーニング科学, 8: pp.62-65, 2007-03.
- (2) 阪口聖也, FESを用いた人間の膝関節アクティブ粘弾性の推定, 18回日本IFTToMM会議シンポジウム, pp. 25-28, Tokyo, Japan, 2012.