

ペダリング動作において一定仕事率での負荷量と回転数の組み合わせが関節運動やクランクトルク、関節トルクに及ぼす影響について

Effects of different pedaling rates on joint movement and crank torque, joint torque during constant work rate pedaling

○岩下 篤司 (大阪電通大, 洛陽病院), 吉田 正樹 (大阪電通大), 小西 有人 (岡山大)

Atsushi IWASHITA, Osaka Electro-Communication University, Rakuyou hospital
 Masaki YOSHIDA, Osaka Electro-Communication University
 Yuto KONISHI, Okayama University

Abstract: There is diversity in the combination of the loading and the pedaling rate when the constant work rate pedaling. So that combination pattern is infinity. As a result, it changes the joint torque, the muscle activity, and the energy consumption, etc. The study of the pedaling rate with high energy efficiency is admitted when the pedaling is operated at the high constant work rate; however the study at the work rate used by rehabilitation is few though. Moreover, it is possible to change the number of replications within the fixed time if the pedaling rate changes, which influence the amount of a muscle activity. The purpose of this study was that the influence given to the characteristic of the amount of a crank torque and joint torque, joint movement. Result of this study, range of ankle joint sifts to plantal flex range. And range of knee joint sifts to extension range, too. Joint angular velocity increased with the increase in pedaling rate. Crank torque decreased with the increase in pedaling rate. Ankle joint torque decreased with the increase in pedaling rate. But, Knee joint torque increased with the increase in pedaling rate.

Key Words: Pedaling , Crank torque , Joint torque

1. はじめに

ペダリング動作を行う場合、一定仕事率でも高負荷量・低回転数から低負荷量・高回転数まで様々な組み合わせが可能であるため、関節運動やクランクトルク、筋活動やエネルギー消費等も変化することが考えられる。一定仕事率でのペダリング動作において回転数を増加させると、それに対応しクランクトルクは減少することが確認されている⁽¹⁾。しかし、Pattersons と Moreno⁽²⁾によると、仕事率 100W と 200W で回転数を 40~120rpm に変化させたときのクランクトルクを測定した結果、90~100rpm 以上の高回転数ではクランクトルクは高値を示したと報告している。同様に、下肢の各関節トルクについても 120rpm のような高回転数では関節トルクは増加すると報告されている。筋活動について、Neptune ら⁽³⁾は一定仕事率 (250W) にて回転数を増加すると、腓腹筋とハムストリングスおよび内側広筋は回転数増加に比例して筋活動量も増加し、大殿筋とヒラメ筋は 90rpm で最小値を示し、それ以上の回転数では逆に増加したと報告している。さらに、エネルギー効率の観点から、一定仕事率において VO₂ が最小値を示した回転数は最大効率下回転数 (OVSM) と定義され、Frederique ら⁽⁴⁾によると、一定仕事率 150W における OVSM は 57.0rpm でありエネルギー効率が高いことを報告している。

このように一定仕事率でも負荷量と回転数が変化すれば身体に与える様々な影響が確認されている。しかし、これらの研究は 200~250W という高仕事率での報告がほとんどでありリハビリテーションや健康運動に合わせた仕事率での報告は少なく、また仕事率を 1 設定で検討しているものが多い。仕事率を数種類設定し、さらに各仕事率の条件下で回転数と負荷量を変化させたときのペダルに与える影響については未解明な点が多い。そこで本研究の目的はペダリング動作において仕事率を一定にした条件下で回転数と負荷量を変化させたときのクランクに与える力や関節角度や速度、および関節トルクに与える影響を明確にすることである。

2. 方法

2.1 計測機器

2.1.1 クランクトルクの測定について

クランクトルクの測定には、ホイートストンブリッジ回路の概念を利用した 2 アクティブ・ダミー法を用い、ひずみ計をクランクの上側面と下側面に添付した (Fig. 1)。抵抗回路を組み込み、Microstone 社の小型無線モーションレコーダーにて、無線でデータを PC に記録保存した。



Fig. 1 Two strain gauges and two dummy

2.1.2 関節トルクの算出について

三次元動作解析装置を用い、ペダリング動作を測定した。反射マーカーを両側の肩峰、大転子、膝関節裂隙、外果、第五中足骨底、およびペダル中心軸に添付した (Fig. 2)。三次元動作解析装置から得られた空間座標データを用い、二次元の剛体リンクとしてモデル化した (Fig. 3)。

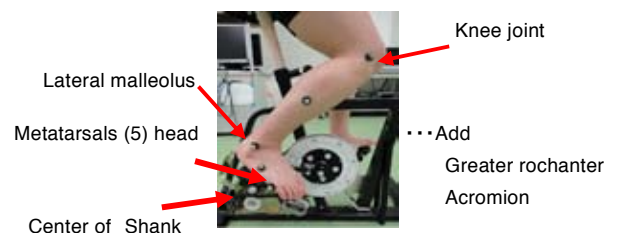


Fig. 2 Marker position

Ankle joint torque

$$t_1 = j_1 \ddot{a}1 - n_0(xx_0 - x_1) - f_0(yy_1 - yy_0) - n_1(x_1 - xx_1) - f_1(yy_1 - y_1) \quad (1)$$

Knee joint torque

$$t_2 = t_1 + j_2 \ddot{a}2 - n_1(xx_1 - x_2) - f_1(yy_2 - yy_1) - n_2(x_2 - xx_2) - f_2(yy_2 - y_2) \quad (2)$$

$$f_1 = f_0 - m_1 \ddot{x}1 \quad (3)$$

$$n_1 = n_0 - m_1(\ddot{y}1 + g) \quad (4)$$

$$f_2 = f_1 - m_2 \ddot{x}2 \quad (5)$$

$$n_2 = n_1 - m_2(\ddot{y}2 + g) \quad (6)$$

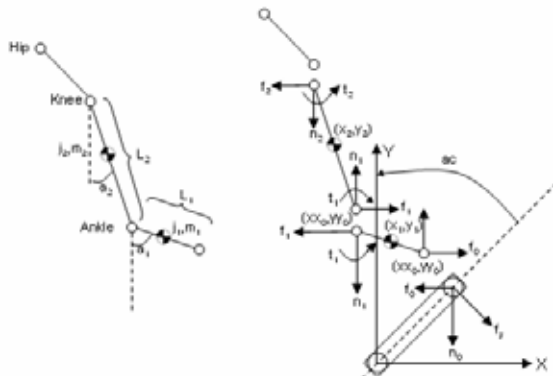


Fig. 3 Linkage model on sagittal plane

2.2 測定条件

2.2.1 対象

対象は下肢の関節および体幹に傷害の既往のない健康成人 10 名(年齢 24.0±2.6 歳、身長 171.0±4.6cm、体重 61.2±7.0kg)とした。また、各被検者に対して本研究の目的および内容を十分に説明し同意を得た。

2.2.2 測定条件

自転車エルゴメーターは下死点にて膝関節屈曲 30° に設定し、トークリップを非装着した。仕事率 60W と 120W、および 180W にて 40、60、80、100rpm の 4 種類の回転数でランダムに施行した。12 秒以上の安定した筋電図を採取した後、電気角度計を基準に 6 秒間、つまり 40rpm では 4 回転分、60rpm では 6 回転分、80rpm では 8 回転分、100rpm では 10 回転分に分類し、安定したデータを用いた。

3. 結果

3.1 関節角度

3.1.2 足関節

回転数の増加に伴い背屈角度は低下し、底屈角度は増加していった(Fig. 3)。

3.1.3 膝関節

回転数の増加に伴い屈曲角度は低下し、伸展角度は増加していった(Fig. 4)。

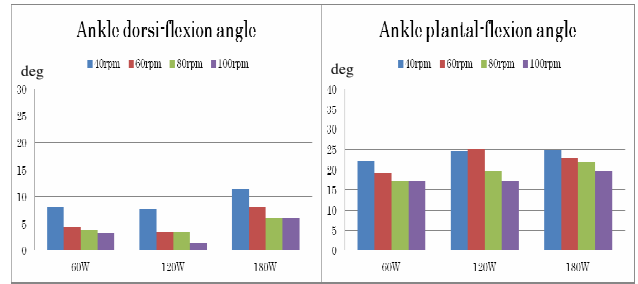


Fig.4 Joint angle (Ankle)

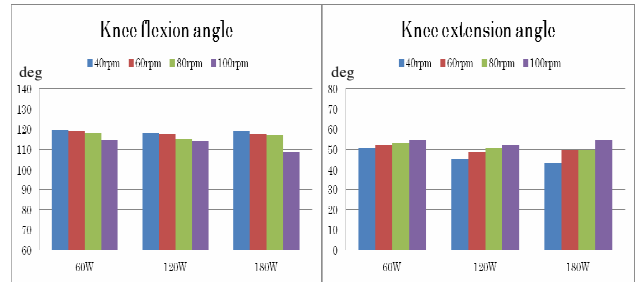


Fig.4 Joint angle (knee)

3.2 関節角速度

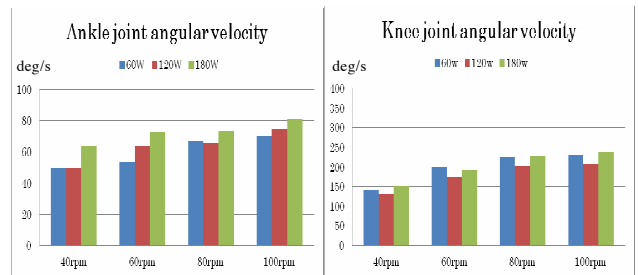


Fig.5 Joint angular velocity

足関節および膝関節ともに回転数の増加に伴い、関節角速度も増加した(Fig. 4)。

3.3 クランクトルク

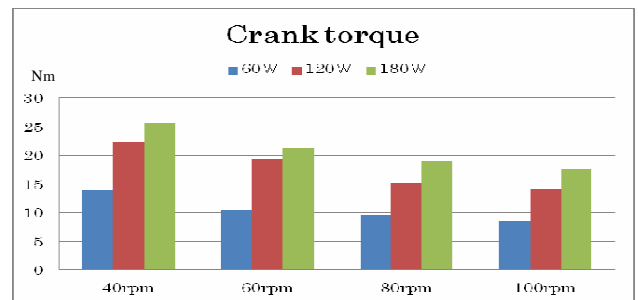


Fig.5 Joint angular velocity

仕事率の増加に伴いクランクトルクは増加した。また、各仕事率ともに回転数の増加に伴いクランクトルクは減少した(Fig. 5)。

3.4 関節トルク

3.4.1 足関節トルク

仕事率の増加に伴い関節トルクは増加した。また、各仕事率ともに回転数の増加に伴い関節トルクは減少した(Fig. 6)。

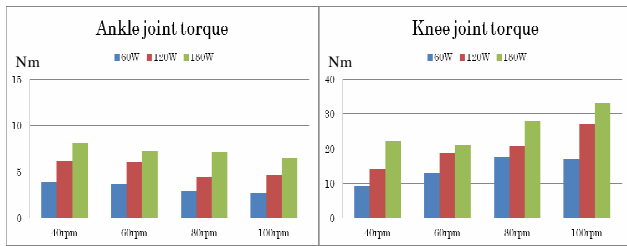


Fig.6 Joint torque

3.4.2 膝関節トルク

仕事率の増加に伴い関節トルクは増加した。また、各仕事率ともに回転数の増加に伴い関節トルクは増加した(Fig. 6)。

4. 考察

今回、クランクトルクの算出を行い関節座標の測定値と組み合わせることにより二次元モデル作成から関節トルクを算出した。関節運動について、足関節は回転速度の増加に伴い可動範囲を底屈側へ移行し、それに連動するように膝関節も伸展方向へ可動範囲を移行させていた。仕事率の増加により足関節の背屈角度が増加したことは、踏み込み相でのペダル反力の増加に対する反応と考えられた。

クランクトルクについて、一定仕事率下のため回転速度が増加すれば、それに相反するようにペダル負荷量は低下する。そのためクランクトルクが回転速度の増加とともに低下したことは必然と考えられる。足関節トルクも同様の結果となったが、膝関節トルクは反対の結果となった。これは星川ら⁽⁵⁾の報告に反する結果となった。低仕事率下ではクランクトルクの減少による影響よりも関節速度の増加による影響が反映されたと考えるが、今後ともに検討する必要があると考えられた。

5. 参考文献

- (1) Tetsuo T , Takashi Y , et al . : Neuromuscular, metabolic, and kinetic adaptations for skilled pedaling performance in cyclists. *Med.Sci.Sports Exerc.*442-449, 1998
- (2) Patterson RP and MI Moreno . : Bicycle pedaling forces as a function of pedaling rate and power output . *Med.Sci.Sports Exerc.* 22 : 512-526, 1990
- (3) Neptune RR, Kautz SA, et al . : The effect of pedaling rate on coordination in cycling. *J. Bio* 30 : 1051-1058, 1997
- (4) Frederique H, Alain B, et al . : Optimal pedaling velocity characteristics during maximal and submaximal cycling in humans. *Eur J Appl Physiol* 79:426-432, 1999.
- (5) 星川 秀利, 玉木 啓一, 藤本 浩志・他: ペダリング動作時の下肢関節トルクにおけるサイクリストと非サイクリストの比較. *体力科学* 1999. 48(5):547-558.