Estimation of Glenohumeral Muscle Force by Optimization Method

学 ○梶田 大介 (神戸大)

正 松田 光正 (神戸大)

水野 清典 (水野整形外科クリニック)

坂井 宏成 (ひろクリニック)

Daisuke KAJITA, Kobe University, 1-1, Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe

Mitumasa MATSUDA, Kobe University

Kiyonori MIZUNO, Mizuno Orthopedic Clinic

Hiroshige SAKAI, Hiro Clinic

1 緒 言

肩関節は人体中最も複雑な運動が可能な関節であり、その運動は複数の筋の複合作用により実現している。その複合作用を解明するために、外転動作で生じる筋力とそれにより関節に作用する力を推定することを目的として解析を行った。3次元筋骨格モデルを作成し、上腕骨頭に作用するモーメントのつり合いから筋力を求めた。また、転倒や衝突などにより筋が損傷を受けた時、関節の安定性の低下などにより日常生活が困難になることから、代表的な肩関節疾患である腱板損傷を想定した条件を入力したモデルについても解析を行い、影響を比較した。

2 解析手法

2.1 三次元筋骨格モデル 肩関節 CT 画像をもとに、上腕骨、肩甲骨、鎖骨の3次元骨格モデルを作成した。肩甲骨面内での運動を想定して冠状面から前方に30度傾いた面内での挙上運動を挙上30度毎に前方と側方の2方向からレントゲン撮影を行い、2画像にモデルの位置合わせを行うことで外転時の肩関節骨要素の3次元的配置を再現した。考慮する筋は上腕骨と肩甲骨に付着を持つ筋とし付着範囲が広い筋は複数本に分割して与えた。筋付着位置は文献¹⁾を参考に決定し、筋の走行は骨形状を考慮して最短経路で走行するものとして与えた。三角筋の走行は筋同士の間を考慮し、上腕骨頭を棘上筋腱厚さを考慮した経路を走行するようとした。(図1)

Fig.1 Glenohumeral joint musculoskeletal model

2.2 最適化計算による筋力値の導出

上腕骨頭周りモーメントのつり合いは次式で表せる。

$$\sum_{i=1}^{19} \mathbf{r}_i \times F_i \mathbf{u}_i + \mathbf{r}_w \times W_w \mathbf{u}_g = 0 \quad (1)$$

(F_i : 筋力, $\mathbf{u}_i$: 筋力作用方向単位ベクトル, $\mathbf{r}_i$: 筋力作用位置, W_w : 上肢自重, $\mathbf{r}_w$: 重力方向単位ベクトル)

ここで(1)式は不静定で唯一解が得られないため筋応力の二乗和で与えられる目的関数 f を最小化する解の組み合わせ

を最適化計算により求める。

$$f = \sum_{i=1}^{19} (F_i / PCSA_i)^2 \quad (2)$$

(PCSA: 生理学的筋断面積)

(1), (2) 式の計算には数値解析ソフト MATLAB 7.1 の Optimization toolbox 内の関数 fmincon を用いた。

2.3 解析結果 関節面接触力の X 方向 (臼蓋方向) 成分を図2に、Z 方向 (上下方向) 成分を図3に示す。

Fig.2 Force in X-axis direction
(left:all area, right:square part of the left)

Fig.3 Force in Z-axis direction
(left:all area, right:square part of the left)

正常モデルと各モデルの接触力を比較すると X 方向成分は棘上筋断裂時にはほぼ変化しないことがわかった。Z 方向成分は棘上筋断裂、棘下筋断裂の両モデルで増加した。

3 結言

上腕骨頭周りに作用するモーメントのつり合い式を最適化手法を用いて解くことで肩関節外転時の肩関節周囲筋群の活動状況を推定した。結果、以下のことが判明した。(1) 棘上筋断裂モデルでは接触力の X 方向成分が変化しなかったことから棘上筋が骨頭を臼蓋に押しつける作用は小さい。(2) Z 方向成分の増加傾向から棘上筋、棘下筋の双方が骨頭を臼蓋の中央に牽引する役割を担っていることがわかった。

参考文献

- 1) Abrahams, P. H., 佐藤達夫, 人体解剖カラーアトラス, (1999), 南江堂.