

## スクワット支援装置の開発

## Development of squatting assist device

○正 今戸 啓二 (大分大学 工学部) 非 山澤 純平 (京セラ)  
正 三浦 篤義 (大分大学 工学部) 非 津村 弘 (大分大学 医学部)

Keiji IMADO, Faculty of Engineering, Oita University  
Junpei YAMAZAWA, Kyocera  
Atsuyoshi MIURA, Faculty of Engineering, Oita University  
Hiroshi TSUMURA, Faculty of Medicine, Oita University

**ABSTRACT**—It is known that squat training has high effect on strengthening lower extremity muscle groups. But it is difficult for the elderly with lower extremity strength weakened to do a squat training. We developed a simple squatting assist device by which anyone can squat easily. The device uses Scott-Russel mechanism to obtain vertical assist movement for squatting subject. Rubber belts were used to get assist force. Assist force was analyzed and was confirmed by the experiment. The relieving effect on the lower extremity burden by the device was evaluated by means of electromyogram. Clear reduction in EMG amplitude was confirmed while squatting with the device. The device might be useful for the elderly to strengthen their lower extremity muscles and postural control ability.

**Keywords:** Squat, Scott-Russel mechanism, Rehabilitation, Power-assist, EMG, Rubber-belt

## 1. はじめに

加齢や病気により下肢筋力が弱まれば、椅子から立ち上がりや歩行にも支障をきたすようになる。そうなれば ADL の低下を招き、長期臥床となる可能性が高くなる。その対策として下肢筋力を鍛える必要があり、スクワットは大殿筋、大腿四頭筋などの下肢筋肉の筋力アップに大きな効果がある。しかしながら健常者でも負担の大きいスクワットを、下肢筋力の弱い人達が行うことは難しい。エクササイズマシン<sup>1)</sup>を利用したスクワットやレッグプレスなどはあるが、主に健常者の筋力アップに使われ、リハビリにはあまり使われていない。座位で行う装置には、筋力と同時に重要な立位バラン

ス能力を高める効果は低い。スクワットの筋力アップ効果に着目したスクワット支援装置が考案され、特許<sup>2)</sup>を取得した後「ステッキレス」という名前で商品化されている。ステッキレスによる筋力アップ効果については論文<sup>3)</sup>もあり効果は高いようである。しかしながらリンク機構が複雑なため高価である。本研究はスコットラッセル機構にゴムベルトを組み合わせたシンプルな機構のスクワット支援装置を開発した。本論文はその概要について報告する。

## 2. スクワット支援装置の概要

図1に支援装置の写真を示す。図2は使用中の写真であり、図3はスケルトンを示す。H が座面となり体重の一部 W を支持する。AO 間にゴムベルトを張り、H の下降に伴い伸張するゴムベルトのゴム張力を利用して支援力を得る構造である。図3のリンク機構はスコットラッセルの機構<sup>4)</sup>と呼ばれ直線運動を得るために利用される。図3のリンク長が  $a=b=c$  であれば、 $\triangle ABO$  と  $\triangle OBH$  は二等辺三角形となり、簡単な幾何学的考察により、 $\alpha + \beta = \pi/2$  となり、H は鉛直方向に運動する。x, y 方向の単位ベクトルをそれぞれ  $\mathbf{i}, \mathbf{j}$  として以下のベクトルを定義する。

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{a} &= a(\cos \alpha \mathbf{i} + \sin \alpha \mathbf{j}), & \mathbf{W} &= -W\mathbf{j} \\ \mathbf{F} &= F(-\cos \alpha \mathbf{i} + \sin \alpha \mathbf{j}), & \mathbf{P} &= P_x \mathbf{i} - P_y \mathbf{j} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

スライダである A 点回りのモーメントの釣合式、

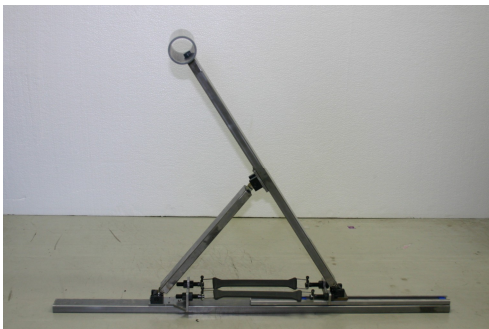


Fig.1 Photograph of squatting assist device

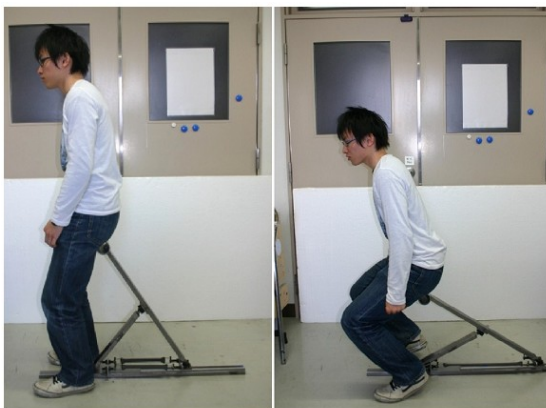


Fig.2 Photograph of squatting assist device in use

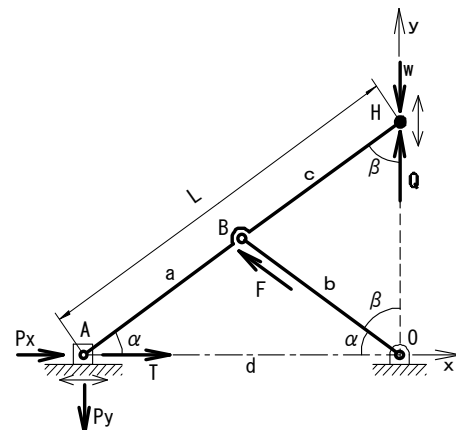


Fig.3 Fig.3 Skeleton of squatting assist device using Scott-Russel mechanism

$$2\mathbf{a} \times \mathbf{W} + \mathbf{a} \times \mathbf{F} = \mathbf{0} \quad (2)$$

に(1)を代入して  $\mathbf{F}$  と  $\mathbf{W}$  の関係について解けば、リンク BO に作用する軸力  $\mathbf{F}$  は、

$$\mathbf{F} = \mathbf{W} / \sin \alpha \quad (3)$$

となる。つぎにリンク AH に作用する力の釣合式は、

$$\mathbf{P} + \mathbf{W} + \mathbf{F} = \mathbf{0} \quad (4)$$

となり、(3)に注意しながら(4)に(1)を代入すると、

$$P_x = W / \tan \alpha, \quad P_y = 0 \quad (5)$$

となり、スライダには  $y$  方向の力は作用しないことが分る。

開発した支援装置の長さは 1m、重さは約 7 kg である。ゴムベルトは厚さ 6 mm、幅 34 mm、両端に取付け用金具があり全長は 270 mm である。ゴムの硬さは 3 種類あり、100% 伸張時のゴム張力は 60N~100N 程度である。スクワット支援装置には複数のゴムベルトを付けられる。

つぎにゴム張力  $T$  と支援力  $Q$  の関係を求める。A から H

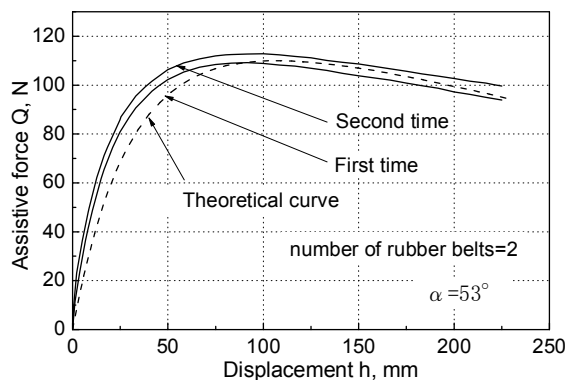


Fig.4 Comparison of theoretical value and experimental value for h-Q relation

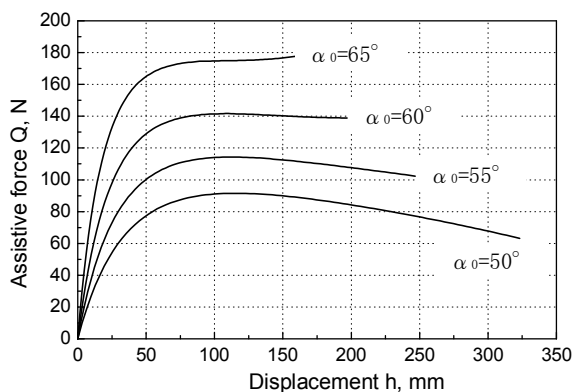


Fig.5 h-Q relation changes with initial angle  $\alpha_0$

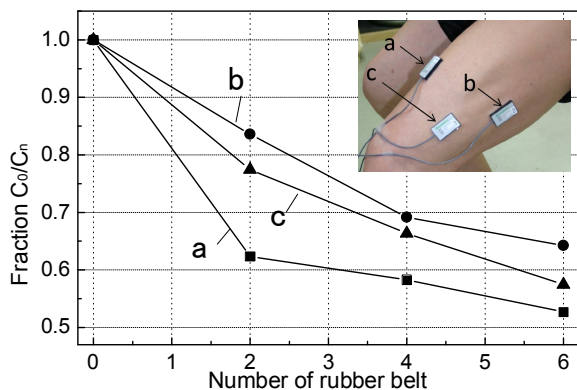


Fig.6 With an increment of rubber belt, muscular power required for squatting becomes smaller

までのリンク長を  $L$ 、ゴムが自由長のときの OA 間の距離を  $D$ 、対応する座面高さを  $H$  とする。  $H$  から下向きを正とする座面変位を  $h$ 、対応する OA 間の伸びを  $\delta$  とする。  $\angle AOH$  は直角であるので、ピタゴラスの定理より、

$$\delta = \sqrt{L^2 - (H-h)^2} - D \quad (6)$$

となる。(6)より座面変位  $h$  からゴムの伸び  $\delta$  が計算できる。 $\delta$  が分れば、キャリブレーションよりゴム張力  $T$  を知ることができる。ゴム張力  $T$  は(5)の  $P_x$  であるので、  $W$  と釣り合う支援力  $Q$  が計算できる。

$$Q = |W| = T \tan \alpha = T(H-h)/(D+\delta) \quad (7)$$

大変形するゴムベルトは伸びと張力の関係は非線形である。そのため万能試験機で両者の関係を予め測定して、ゴム張力  $T$  は、  $\delta$  を独立変数とした三次のスプライン補間<sup>9)</sup>により求めた。図4に座面変位  $h$  と支援力  $Q$  の計算値と測定値の例を示す。この関係は図3の初期リンク角度  $\alpha_0$  により異なる。図4では  $\alpha_0=53^\circ$  である。本装置はゴムベルトを取り付けるフックの位置をねじを利用して調整することで、被験者の臀部の高さに合わせる。AO 間距離を短くすれば  $H$  は高く(角度  $\alpha_0$  は大きく)なり、長くすれば、  $H$  は低く(角度  $\alpha_0$  は小さく)なる。

図5にゴムベルトを2本使用時の、  $\alpha_0=50\sim 65^\circ$  までの座面変位  $h$  と支援力  $Q$  の関係を示す。  $\alpha_0=60^\circ$  の場合、座面変位  $h=80\sim 200$  mm ではゴム張力  $T$  の増加にも拘わらず支援力  $Q$  はほぼ  $Q=140$  N 一定である。これは(7)より分るように、張力  $T$  が増加しても角度  $\alpha$  が小さくなることで増分張力  $\Delta T$  の  $Q$  への寄与分  $\Delta Q$  が相殺されるためである。図5の曲線より下の面積はエネルギーを表わし、同じゴムベルトを使用する場合、初期角度  $\alpha_0$  に拘わらず、ゴムベルトの伸び  $\delta$  が同じであればエネルギーはすべて同じになる。

### 3. 実験法

支援機による支援効果を評価するため、大腿部に3箇所EMG センサを貼り付け、周期5秒、  $h=0\sim 230$  mm 程度のスクワット中の筋電位をサンプリング周期 2kHz で測定した。リンク角度  $\alpha$  はゴニオメータで測定し、座面変位  $h$  は、

$$h = L(\sin \alpha_0 - \sin \alpha) \quad (8)$$

で求めた。  $h$  が大きくなれば筋張力は増加して筋電位振幅  $V$  は高くなる。  $h$  と  $V$  の間に比例関係  $h=CV$  を仮定して比例定数  $C$  を最小二乗法により求めた。実験ではゴム本数を 0~6 本の範囲で変え、本数  $n$  に対応する  $C$  の値を  $C_n$  とした。  $C$  の大きいほど筋力を使っていないことを意味する。

### 4. 実験結果

実験結果を図6に示す。横軸がゴムベルト本数、縦軸は  $C_0/C_n$  であり、支援力のない状態は1であり、  $C_0/C_n$  の小さいほど支援機による支援効果の高いことを表わす。図6ではゴムベルト本数の増えるほど  $C_0/C_n$  は減少し、支援効果の増加していることが分る。

### 5. 結論

ゴム張力を利用した簡単なスクワット支援装置を開発し、EMG により支援効果のあることを確認した。

### 参考文献

- 1) Floyd R.T., Thompson C.W., Manual of structural kinesiology 14th Ed., McGraw-Hill, p.226-228. (2001)
- 2) オージーエー, 特許第 3830486 号 (2006)
- 3) 琉子友男・石川成道ほか: 短縮性収縮専用マシンを用いたスクワットトレーニングが高齢者の下肢筋力およびバランス能力に及ぼす影響, 日本生理人類学会誌, Vol.10, 2, p.45-51. (2005)
- 4) 井沢実, 加藤博, 機構学, 産業図書, p.79-80. (1972)
- 5) 玄光男, 井田憲一, パソコン数値計算ライブラリ, CBS 出版, p.84-90. (1986)