

注1) 静止駐立姿勢時における 足底重心位置と下肢筋力との関係

山 内 賢

緒 言

人間は、長時間にわたり常にバランスをとりながら極めて安定した姿勢を維持して「立つこと」が可能である。動作学的に考えても、人間の全ての動作は「立つこと」からの展開であり、また、「歩くこと」や「走ること」は、そのままでは倒れる可能性のある身体を支えるために、「立つこと」から、意識的に下肢を前へと動かす動作のことである。立てるからこそ人間は、2本足での運動を始めることができ、そして、止めることができるのである。

安定した姿勢で「立つこと」の研究は数多くされていて、ブラウン、フィッシャーら (1884)、やレイノルズ、ラベットら (1909) が、それぞれ発表している。彼らの報告には、「駐立姿勢における足関節から上の部分の身体重心は、ほぼ足底の中央に落ち、これを2つの足底で支えている。そして、重心点が2つの足底面に囲まれる範囲をこえない限り、駐立姿勢は維持される。」とある。また、最近では、「人間の駐立姿勢の反射性制御や制御機構」についての研究がなされている^{1), 2)}。人間の直立能力についての研究は、動くことの動作学 (kineciology or biomechanics) と同様、静止の動作学 (stasiology) として大変興味深きものである。

姿勢の調整はその姿勢を維持するさいに働く体幹および四肢筋などに発生している筋張力の連続的な調節の結果によるものと考えられている³⁾。また、ある姿勢を維持するために生体は、体性感覚系、視覚系、前庭系などの感覚受容器からの信号を中枢神経系内で統合処理し、いわば目標値からの誤差を識別し、その誤差信号によって目標値からの変位を自動的に補正もしくは調節している

のである。⁴⁾

すなわち、直立能力は、最も安定した駐立姿勢を保持するために必要な様々な能力の総称である。

直立能力を評価するためには、主に2つの見地からの説明がある。それは、1) 地球の重力に対する物理的關係と、2) 身体各部位の幾何学的相互關係である。いずれにせよ、身体を支えるために必要な筋張力の調節は、駐立姿勢の維持にとって、必要不可欠な要因となる。そこで本研究では、先に述べたフィッシャーらの提唱する足底面に投影される安定した駐立姿勢における身体重心の様相が、筋力トレーニングによる下肢筋群の筋力を変化させることにより、矯正されるのではないかと考えた。

平沢は、足底の踵部を0%、爪先部を100%とした場合の、立位時の足底部における身体重心位置の最安定領域を48~53%とし、35%以下や65%以上を安定した立位姿勢をとることのできない危険領域⁵⁾と報告している。立位時の身体重心位置は、年次調査によると1960年に47%、1980年に40%、1990年に39%と、年時を追って踵よりに後退している。阿久根の報告によると、踵よりになった重心位置が35%以下になった時、駐立時の安定感が損なわれることを懸念して^{6),7)}いる。ゆえに、このような年次後退する足底の重心位置の移動の様相は、人間の直立能力や歩行の能力にも何らかの悪影響を及ぼすはずであろう。この現象の社会的背景には、おそらく、日常生活における身体活動の減少や便利な生活習慣による省力化による筋力の減退が予想されるが、この筋力の減退は、望ましい駐立姿勢を保つために重要な抗重力筋（僧帽筋、脊柱起立筋、大臀筋、大腿二頭筋、腓腹筋、ヒラメ筋等）や他の下肢を中心した筋群（腹筋、大腿四頭筋、前脛骨筋等）の退化のことであるので、これらの筋力を鍛えることが、駐立姿勢の補正・矯正に役立つのである。⁸⁾

本研究の目的は、足底面の身体重心の位置と下肢筋群の筋力との関係を比較することにより、安定した駐立姿勢を維持・補正するために必要な下肢筋群の筋力トレーニングの提唱をおこなうことにある。

方 法

1) 測定の方法

測定の対象者は、慶應義塾大学の体育実技における体力アップコース（ウェイトトレーニングを主とした授業内容のもの。）を春学期間に履修した男子塾生62名とした。測定項目は、足底圧力測定装置^{注2)}による、足底における身体重心の位置と、RM法^{注3)}により推定した下肢筋群の最大筋力（1RM）である。なお、筋力は、筋力トレーニングマシン（小川長春館社製の空気圧をトレーニング負荷とするもの。）を用いて測定した。

最大筋力の測定種目は、レッグエクステンションとレッグカールとした。レッグエクステンションは下肢筋群の前面の筋力（大腿四頭筋）の代表値とし、レッグカールは下肢筋群の後面の筋力（ハムストリングス）の代表値とした。前後面の筋力の働きは、いずれも駐立姿勢保持に關与する筋から發揮されるものなので、これらの筋力の数値は、姿勢保持に關与する質的議論の根拠となりうると思った。

足底圧力測定装置による身体重心の測定の条件は、被験者に開眼での状態、両足内側部を平行にした素足での駐立、両足の間隔を10cm、そして、約20秒間その姿勢を保持させたものである。

2) 分析の方法

まず初めに、足底圧力測定装置を用いることにより、全被験者62名に対して、身体重心を測定した。過去の研究成果によると身体重心には、平沢が提示した身体重心の最安定領域（48～53%）が存在する。そこで全被験者の中より、その最安定領域に相当する被験者を、その62名の中よりピックアップした（29名）。29名の被験者は、より優れた身体重心の状態を持つ者であるので、彼らの安定領域内の身体重心と下肢筋群の筋力の関係を分析することは、身体重心の位置を矯正するために必要な下肢筋群の筋力トレーニングの提唱を行うための何らかの手立てとなりうる。

レッグエクステンションとレッグカールの筋力を分析の項目にした理由は、

人間が駐立姿勢を保持する際に、主動筋として、抗重力筋である大腿二頭筋が働き、また、その拮抗筋として、大腿四頭筋が働くので、2つの発揮筋力の関係が姿勢保持に何らかの影響をもたらし、重心位置も自ずと変化するであろうと予測したからである。そこで、足底の身体重心の位置を独立変数とし、下肢筋群の筋力のを従属変数として、これらの2変数の関係を最小二乗方法を用いて、それぞれ動態評価してみた⁹⁾。

結果と考察

表1は、被験者の身体的特徴を示している。身長、体重、%FAT、LBMの値はこの年代の平均的なものであり、被験者のBMIの指数は、彼らの年代の理想的な数値を示している¹⁰⁾。

表1 被験者の身体的特徴 (n = 49)

| | 身長 | 体重 | BMI | %FAT | LBM |
|------|-------|------|------|------|------|
| 平均 | 172.7 | 62.6 | 21.0 | 16.1 | 52.3 |
| 標準偏差 | 5.2 | 7.4 | 2.5 | 4.1 | 4.8 |

図1は、X軸に足底圧力測定装置による重心位置、そして、Y軸にレッグエクステンションによる下肢筋群の前面における筋力の実測値をとり、これらの数値の関係を散布図で表したものである。

図1 足底の身体重心の位置とレッグエクステンションの関係

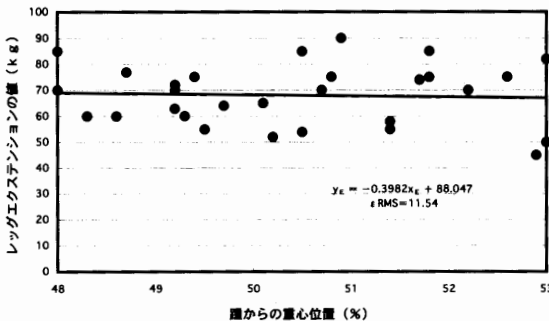
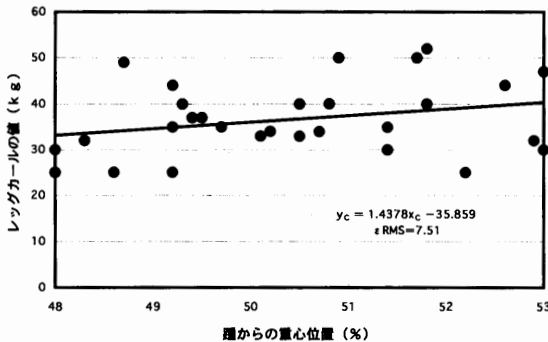


図2は、X軸に足底圧力測定装置による重心位置、そして、Y軸にレッグカールによる下肢筋群の背面における筋力の実測値をとり、これらの数値の関係を散布図で表したものである。

図2 足底の身体重心の位置とレッグカールの関係



重心位置と下肢の筋力における2変数の関係が正であるのか負であるのかを確かめるために最小二乗方法を用いて1次の多項式で動態評価してみた。この正負の関係は、足底の身体重心の最安定領域の閉区間で変動する下肢筋群における筋力の何らかの生理学的制御の状態を示していると考えられる。近似関数は、レッグエクステンションが $y_E = -0.3982x_E + 88.047$ (ϵ RMS=11.54) であり (関数式1)、レッグカールが $y_C = 1.4378x_C - 35.859$ (ϵ RMS=7.51) であった (関数式2)。

関数式1と2は、身体重心位置が踵よりの者ほど、下肢筋群の前面の筋力が強く (現象1)、そして、身体重心位置が踵よりの者ほど背面の筋力が弱い (現象2) 傾向があることを示している。つまり、重心位置が踵よりの者と爪よりの者とは、足底の重心位置と下肢筋群における前面と背面の筋力の関係が質的に反転している。

そもそも、筋力トレーニングは、筋力の強化と拮抗する筋力のバランスの改善にその目的を置いている。ゆえに、レッグエクステンションとレッグカールは、互いに拮抗する大腿四頭筋とハムストリングスの筋力の強化を目的としているので、どちらかの筋力を強化することは、筋力トレーニングによる筋力バ

ランスの改善と間接的な重心位置の矯正を実行することが可能となると考えられる。そこで、重心位置と下肢筋群の前面と背面における筋力のバランスに注目した。下肢筋群の筋力のバランスの状態を示すには、レッグエクステンションとレッグカールによる筋力評価の比率を用いることが一般的であり、その下肢筋群の理想的な前面と背面のバランスは3：2¹¹⁾（66.7%）と言われている。なお、下肢筋群の前面と背面のバランス（ $M_{C/E}$ ）は、レッグカールの値（ M_C ）をレッグエクステンション（ M_E ）の値で割ったものである。 $M_{C/E} = M_C / M_E$ （数式 I）

図3 足底の身体重心の位置と下肢筋群の筋力バランスの関係

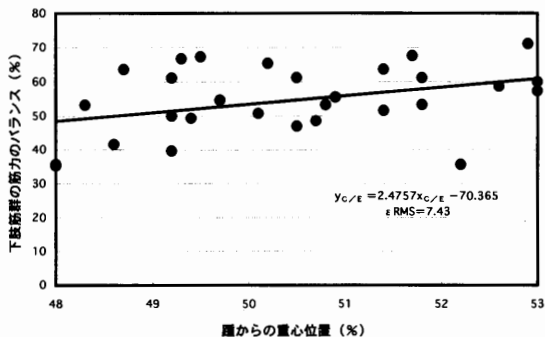


図3は、X軸に足底圧力測定装置による重心位置、そして、Y軸に下肢筋群の前面と背面における筋力のバランスの実測値をとり、これらの数値の関係を散布図で表したものである。レッグエクステンションとレッグカールの場合と同様に動態評価を行った結果、近似関数は $y_{C/E} = 2.4757x_{C/E} - 70.365$ (ϵ RMS = 7.43)であった（関数3）。この関数は、身体重心位置が踵よりの者ほど、下肢筋群の筋力バランスが悪いことを意味している（現象3）。

先に述べたが、年次、身体重心位置は、踵よりになってきて、駐立時の不安定の危機感が叫ばれている。この状況を救うために、現象1、現象2と現象3は、駐立姿勢の維持にとって必要不可欠な要因となる下肢筋群の筋張力の調節能力をいかに改善すべきかの要点を与えてくれるのである。すなわち、身体重心の位置が踵よりになってゆく原因は、ハムストリングスの弱さと下肢筋群

の筋力バランスの悪化であると考えられる。

身体重心の踵方向への後退によるハムストリングスの筋力の弱化は、その筋が抗重力筋であるため、歩行運動の機会が少なくなったことがその原因であると推測できるので、この筋力をレッグカールにより鍛えることは、身体重心を常に安定領域に定着させるためのトレーニングメニューになると考えられる。下肢筋群の筋力バランスは、数式 I で評価できるので、数式の分子であるハムストリングスの強化をすることにより、必然的に改善されるであろう。

筋力トレーニングは筋力の向上をその目的にしているので、大腿四頭筋も当然、鍛えなければならない。数式 I の分母である大腿四頭筋の強化をすると筋力バランスの値は小さくなるので、それ以上のハムストリングスの筋力強化を期待しなければならない。

すなわち、下肢筋群の前面と背面をうまく調和させることを目的とした2つの拮抗する筋力の強化は、レッグカールを鍛える場合と同様に、身体重心を常に安定領域に定着させるためのトレーニングメニューになると考えられる。

まとめ

レッグエクステンションとレッグカールのトレーニング種目は、いづれにせよ下肢筋群における筋力の強化をするためのものであるが、それぞれの強化は、足底の身体重心の位置の矯正の一要因となりうる。すなわち、それぞれの筋力の強化の意図的な試行は、重心位置の矯正に役立つのである。

身体重心を安定領域に定着させるために重要となる運動課題とは、第一にハムストリングスを強化することである。次に大切な運動課題とは、大腿四頭筋の強化とハムストリングスのさらなる強化による、下肢筋群の筋力バランスの向上を目指すことである。

謝 辞

この研究を行うにあたり多大な御協力を賜った、桜美林大学の阿久根英昭教授に心より謝意を表します。

文 献

- 1) 福田 精 運動と平衡の生理学 医学書院 1957
- 2) 猪飼道夫 姿勢および運動のメカニズム. 新生理学,
問田直幹, 内菌耕二編 医学書院 1971
- 3) 森 茂美 運動と姿勢の調節 医学のあゆみ. 77 1971 pp1-7
- 4) 森 茂美 中枢神経系にみられる 2, 3 の運動制御機構
医学のあゆみ編 医歯薬出版 1970 pp296-303
- 5) 平沢弥一郎 新しい人体論 日本放送出版会 1960 pp213-217
- 6) 阿久根英昭 足底圧力と姿勢の歪みに関する研究 (第1報)
桜美林論集 1998 pp98 - 107
- 7) 安藤勝英 重心位置と下肢筋群の筋力との関係について
慶應義塾大学体育研究所紀要第39巻 1号 2000 PP 1-6
- 8) 湯浅景元 筋肉 一筋肉の構造・役割と筋出力のメカニズム—
山海堂 1998
- 9) D. バージェス/M. ボリー 微分方程式で数学モデルを作ろう
日本評論社 1990
- 10) 国民衛生の動向 財団法人厚生統計 2000
- 11) 栗山節郎・比佐 仁監修 ウィダー・コンディショニング・バイブル
森永製菓健康事業部 1991 pp154 - 157

注 釈

注1)

生体の運動機構とその制御 杏林書院 1974 pp262より引用。「駐立姿勢 (standing posture) は、イヌ・ウマなどに代表される四足動物 (quadriped) におけるものと、ヒトに代表される二足動物 (biped) におけるものとに大別されるが、四足、二足いずれの場合においても重力に抗して長時間にわたり極めて安定した姿勢を維持できるという特徴を持っている。」

注2)

足底圧力測定装置とは、足底における重心位置を推定するための測定器のことであり、測定器の仕組みを以下に示す。

1) 足底の圧力分布を測定するために、ガラスの上に1080cm²の面積の面積をもつ4134個のピラミッド形の突起を有する圧力ゴムマット (シリコン) をその頂点が下向になるように敷き、その上に被験者が駐立する。その時、ゴムマットの突起が潰れる。潰れたさいの圧力を

光学量に変換してフートプリントを作り、荷重分布や身体重心の位置を測定する装置である。すなわち、ピラミッド形の突起物の形状変化をビドスコープを介してカメラで撮影し、その映像を映像解析ボードで映像化する。そして、身体重心は潰れの面積と突起の弾力の係数の関係を積分することにより定量化するものである。

2) 重心位置の基準は、足底最後部（踵の位置）の接地面を0%，最前部（爪先の位置）の接地面を100%とする。

すなわち、この場合の評価とは、重心位置が踵から何%に位置するかのことである。

注3)

RM法とは、ある重さを最大限連続して繰り返し運動ができる回数により個人の最大筋力を推定する方法である。例えば10kgの重さを最大限10回連続して行なえたなら、この重さを「10RM」とよぶ。反復回数と負荷の強度（%）は対応していて、その対応を以下の表で示す。この場合の最大筋力は、下記の対応表より計算すると1RMが約12.5kgとなる。

| 負荷の強度（%） | 反復回数 | 主な効果 |
|----------|---------|-----------|
| 100 | 1～2RM | ロー・ギア・パワー |
| 90 | 3～5RM | ロー・ギア・パワー |
| 85 | 6～8RM | 筋 肥 大 |
| 80 | 8～10RM | 筋 肥 大 |
| 75 | 10～12RM | 筋 肥 大 |
| 70 | 13～15RM | 筋 持 久 力 |
| 50 | 20～30RM | 筋 持 久 力 |
| 35 | 50～60RM | 筋 持 久 力 |

〈資料〉最安定位置における重心位置と筋力の実測値

| No | 踵からの位置 | レッグエクステンションの位置 | No | 踵からの位置 | レッグカールの位置 | No | 踵からの位置 | 下肢筋力の比率 |
|----|--------|----------------|----|--------|-----------|----|--------|---------|
| 1 | 48.0 | 70.0 | 1 | 48.0 | 25.0 | 1 | 48.0 | 35.7 |
| 2 | 48.0 | 85.0 | 2 | 48.0 | 30.0 | 2 | 48.0 | 35.3 |
| 3 | 48.3 | 60.0 | 3 | 48.3 | 32.0 | 3 | 48.3 | 53.3 |
| 4 | 48.6 | 60.0 | 4 | 48.6 | 25.0 | 4 | 48.6 | 41.7 |
| 5 | 48.7 | 77.0 | 5 | 48.7 | 49.0 | 5 | 48.7 | 63.6 |
| 6 | 49.2 | 72.0 | 6 | 49.2 | 44.0 | 6 | 49.2 | 61.1 |
| 7 | 49.2 | 63.0 | 7 | 49.2 | 25.0 | 7 | 49.2 | 39.7 |
| 8 | 49.2 | 70.0 | 8 | 49.2 | 35.0 | 8 | 49.2 | 50.0 |
| 9 | 49.3 | 60.0 | 9 | 49.3 | 40.0 | 9 | 49.3 | 66.7 |
| 10 | 49.4 | 75.0 | 10 | 49.4 | 37.0 | 10 | 49.4 | 49.3 |
| 11 | 49.5 | 55.0 | 11 | 49.5 | 37.0 | 11 | 49.5 | 67.3 |
| 12 | 49.7 | 64.0 | 12 | 49.7 | 35.0 | 12 | 49.7 | 54.7 |
| 13 | 50.1 | 65.0 | 13 | 50.1 | 33.0 | 13 | 50.1 | 50.8 |
| 14 | 50.2 | 52.0 | 14 | 50.2 | 34.0 | 14 | 50.2 | 65.4 |
| 15 | 50.5 | 54.0 | 15 | 50.5 | 33.0 | 15 | 50.5 | 61.1 |
| 16 | 50.5 | 85.0 | 16 | 50.5 | 40.0 | 16 | 50.5 | 47.1 |
| 17 | 50.7 | 70.0 | 17 | 50.7 | 34.0 | 17 | 50.7 | 48.6 |
| 18 | 50.8 | 75.0 | 18 | 50.8 | 40.0 | 18 | 50.8 | 53.3 |
| 19 | 50.9 | 90.0 | 19 | 50.9 | 50.0 | 19 | 50.9 | 55.6 |
| 20 | 51.4 | 55.0 | 20 | 51.4 | 35.0 | 20 | 51.4 | 63.6 |
| 21 | 51.4 | 58.0 | 21 | 51.4 | 30.0 | 21 | 51.4 | 51.7 |
| 22 | 51.7 | 74.0 | 22 | 51.7 | 50.0 | 22 | 51.7 | 67.6 |
| 23 | 51.8 | 75.0 | 23 | 51.8 | 40.0 | 23 | 51.8 | 53.3 |
| 24 | 51.8 | 85.0 | 24 | 51.8 | 52.0 | 24 | 51.8 | 61.2 |
| 25 | 52.2 | 70.0 | 25 | 52.2 | 25.0 | 25 | 52.2 | 35.7 |
| 26 | 52.6 | 75.0 | 26 | 52.6 | 44.0 | 26 | 52.6 | 58.7 |
| 27 | 52.9 | 45.0 | 27 | 52.9 | 32.0 | 27 | 52.9 | 71.1 |
| 28 | 53.0 | 50.0 | 28 | 53.0 | 30.0 | 28 | 53.0 | 60.0 |
| 29 | 53.0 | 82.0 | 29 | 53.0 | 47.0 | 29 | 53.0 | 57.3 |

The relation between the position of center of gravity on postural stability and the muscular strength of the lower limbs in the human

Ken Yamauchi

In this paper, we investigate the relation between the position of center of gravity on postural stability and the muscular strength of the lower limbs. The indexes of the strength were Leg extension and Leg curl. One Repetition Maximum of muscular strength was calculated using by repetition maximum method. The center of gravity on postural stability was measured using FPS(Foot Pressure System).

The result were as follows,

To train both of the extension and the curl, it was a primary factor that changing more better balance and position, but it must to use properly two cases. 1) At first, keeping the best position of center of gravity, it must to be training the curl. 2) Second, keeping the best position, it must to be training the extension, and the same time, it must to be more training the curl, which were a target for the best balance on the muscular strength of the lower limbs (Leg extension and Leg curl).

These methods were necessary to cure a posture.