

論文の内容の要旨

論文題目 閉塞性動脈硬化症による跛行患者に対する運動療法前後での生体力学解析

氏名 芳賀真

序文：

我が国では生活習慣の欧米化や高齢化に伴い、動脈硬化性疾患は増加の一途を辿っている。下肢の閉塞性動脈硬化症（Arteriosclerosis obliterans: ASO）も例外ではなく、アメリカ合衆国では成人人口の3-30%が罹患していると報告されている。下肢のASOの主症状の一つは間歇性跛行である。間歇性跛行患者は活動性や運動能力に著しい障害を有している。運動能力やQOL (Quality of life)の改善はASO患者における治療の重要な目標である。ASOによる間歇性跛行に対する治療方針は、まず薬物療法や監視下運動療法（Supervised exercise program: SEP）を行い、症状の改善がみられない場合には血行再建を検討することを勧められている。

運動療法により歩行能力が改善する機序としては、血管新生、側副血行路の発達、血管内皮機能の改善、血液のレオロジー（流動学的性質）の改善、筋力の増大、筋代謝の改善、炎症反応の改善、心肺機能の向上、運動効率の改善などが報告されているが、不明な点が少なくない。3次元動作解析を利用した筋骨格モデル解析を適応することにより、下肢及び体幹の力学的挙動を評価することが可能である。ASOによる間歇性跛行患者で、運動療法により歩行能力が改善する機序を示すことができれば、より効率的で合理的な運動療法メニューの提案が可能となろう。

目的：

本研究は下肢の筋肉群や体幹の筋肉による代償が運動療法における歩行能力の改善に寄与するとの仮説を立て、運動療法前後の歩行動作を生体力学的に計測し、歩行動作及び関節角、関節トルク、各筋肉の筋張力、関節の仕事量の変化を検討し、並行して運動療法前後のComputed Tomography (CT) 画像で計測された筋肉の面積と近赤外線分光法 (Near-infrared spectroscopy: NIRS) を用いて歩行時の虚血評価を行い、比較検討することを目的とした。

対象と方法 1 :

ASO による間歇性跛行をみとめる患者のうち、週 3 回、3 か月間の SEP を終了できた 16 症例を対象とした。具体的に SEP は当院の心臓リハビリテーション室で 30 分の自転車エルゴメータを利用したトレーニングと 30 分の筋力トレーニングを行った。運動解析は SEP 前後に、工学部のスタジオでトレッドミルを使用し、トレッドミル上を歩行してもらった。患者の歩行速度に合わせて時速 2.4km または 3.6km で歩行することを選択し、SEP 後も同速度で歩行してもらった。患者が下肢の間歇性跛行を訴えた時を跛行出現距離とし、更に歩行を続けてもらい、これ以上の歩行が不可能と訴えた時点を最大歩行距離とした。最大歩行距離は間歇性跛行の重症度評価の指標として知られている。

トレッドミル歩行時はモーションキャプチャを用いて、歩行動作の運動情報を取得した。モーションキャプチャは高精度な非侵襲運動計測手法である。被験者は光学式マーカと呼ばれる再帰性反射素材で覆われた球状のマーカを全身に身につけて運動をおこなう。モーションキャプチャカメラは赤外線を照射し、マーカからの反射光を画素で取得する。複数台のカメラ画像とカメラ自身の位置および姿勢から、マーカの 3 次元での位置を取得する。これらの情報から関節角、関節トルク、筋張力などの力学的出力や力学的エネルギーを生体力学的に解析し、SEP 前後の歩行動作及び各筋肉の筋張力の変化を評価した。加えて、運動療法前後の NIRS の変化及び ASO における QOL の変化についても評価した。

結果 1 :

運動療法後の

- ・歩幅に変化を認めなかったが、跛行出現距離及び最大歩行距離は有意に増大した
- ・股関節角の可動域は有意に減少した
- ・両側の股関節トルクの最大値は有意に減少した
- ・垂直軸と股関節から胸椎までの最大角度と可動域に変化を認めなかった
- ・両側の大臀筋の最大筋張力が有意に減少した
- ・左股関節の仕事量は有意に減少した
- ・NIRS より運筋有酸素能の改善は認めなかった
- ・ASO における QOL の得点は有意に高かった

対象と方法 2:

対象 1 と同様に SEP を終了できた 16 例を対象とした。64 列マルチスライス CT で撮影された CT 画像をビューアソフトウェアを用いて、以下の a~c の筋肉の輪郭をトレースし、面積を算出した。

- a. CT の第三腰椎レベルの横断像上の左右の腹直筋、腹斜筋、大腰筋、脊柱起立筋
- b. CT の座骨下端の横断像上の左右の大腿直筋、臀筋
- c. CT の腓骨上端（腓骨頭尖）から腓骨下端（腓骨果溝）の中央の横断像上の下腿部

結果 2:

SEP 前後で腰部の主要な筋肉である腹直筋、腹斜筋、大腰筋、脊柱起立筋、臀筋と大腿直筋は優位に増大していた。SEP 前後で、下腿部の面積変化は認めなかった。

考察:

運動療法を行った ASO 跛行患者に対して 3 次元動作解析を利用した筋骨格モデル解析を適用することにより、運動療法後は歩行時の股関節可動域（股関節角の最大値・最小値）、股関節トルク、大臀筋の最大筋張力が減少することを明らかにした。また、運動療法を行った同患者に対して CT 横断像上で筋肉の輪郭をトレースすることにより、腰部主要筋と大腿筋の推定筋力（筋肉量）が増大することも示した。加えて、NIRS では、運動療法により筋有酸素能の改善は認めず、ASO における QOL の得点も有意に高かった。

筋力の増大は、運動療法により歩行能力が改善する推定機序の 1 つとして報告されている。そのため申請者は研究当初の仮説として、運動療法によって下肢筋群や体幹の筋力が増大することにより、歩行に関連する関節トルクや筋張力が高まり、結果として歩行能力の改善につながるというメカニズムを想定した。ところが、腰部主要筋と大腿筋の筋力は運動療法により増大したものの、歩行時の股関節可動域、股関節トルク、大臀筋の最大筋張力はむしろ減少するという解析結果を得た。筋力が増大したにもかかわらず、関節トルクや筋張力が低下し、結果的に歩行能力が改善するという、一見、相反するような結果が得られたわけであるが、これらの現象を矛盾なく説明する機序として、次にあげる 2 つの可能性について考察した。

一つは、立位姿勢保持能力を切り口とした可能性である。立位姿勢の保持に働く筋肉は抗重力筋と呼ばれ、腹側に位置するもの（前脛骨筋、大腿四頭筋、腹筋群、頸部屈筋群）と背側に位置するもの（下腿三頭筋、ハムストリングス、大臀筋、脊柱起立筋群）とに大別される。本研究では運動療法により、抗重力筋である腹直筋、腸腰筋、脊柱起立筋、大腿直筋、大臀筋の筋力が増大したことによって、運動療法前に比較して立位姿勢保持能力は向上したと考えられる。姿勢保持能力が向上したことにより、安定した「効率の良い歩行」が可能となったのではないだろうか。運動生理学において、「効率の良い歩行」とは重心の移動の少ない歩行と定義される。ヒトの重心は仙骨の前面に位置し、歩行時は左右、垂直方向に周期的に移動するが、この周期的な変化が少ない歩行ほど、運動時の重心の変化が少なく、効率の良い歩行とされている。運動療法により姿勢保持能力が向上した結果、重心の移動が少ない歩行が可能となり、歩行効率が改善したため、療法前より少ないエネルギーで歩行できるようになったと考えられる。少ないエネルギーでの歩行は当然のことながら股関節可動域、股関節トルク、大臀筋の最大筋張力の低下につながり、これらがいまわって歩行能力の改善につながったと推測できる。片側のみデータではあるが、股関節の仕事量が減少している点からもこの推測は裏付けられよう。

二つ目の機序としては 1 つ目の機序に付随するものであるが、3 か月の監視下運動療法に

より効率よく歩行するコツ（要領）を習得できた可能性があげられる。これまで運動のコツを掴むことは、個人的な運動体験であり、客観性に乏しい理由で研究対象から排除されてきた。これに対して金子は、学習する者が自らの感覚で動きを読み取り、感覚として学習した上で自らの身体を思いのままに動かし、運動が習得される能力を動感化能力と提唱した。ある運動や動作に対してコツを掴むことはすなわち、動感化能力を習得することに等しい。ASO 跛行患者らは、運動療法後に動感化能力を習得したことにより、効率の良い歩行が可能となり、股関節可動域、股関節トルク、大臀筋の最大筋張力の低下と歩行能力の改善という結果につながったのではないだろうか。

筋骨格モデルを用いた運動療法前後のデータにおいて、唯一左右差が検出されたのが、股関節の仕事量である。運動療法後に股関節可動域と股関節トルクは両側とも有意に減少したため、計算上、股関節の仕事量も減少することが予想されたが、左股関節の仕事量で運動療法後に有意な減少が認められたにもかかわらず、右股関節の仕事量には有意な変化が検出できなかった。この理由としては、両側病変が 7 例（43%）含まれているにもかかわらず、運動療法前後で病変別の解析を行わなかった点が考えられる。本来なら両側病変を除外して病変別に左右の解析を行うのが適切であったが、病変別に解析すると各群の症例数が少なくなり、統計学的な有意差検出能が著しく低下するため、本研究では検討することを見送った。今後は症例数を増やしたうえで、病変別に解析を行うことが望まれる。

結論： 運動療法により腰部主要筋と大腿筋の筋力が増して姿勢保持能力が向上した結果、重心の移動が少ない歩行が可能となり、歩行効率が改善し、療法前より少ないエネルギーで歩行できるようになったと考えられる。また、運動療法により動感化能力を習得したことによっても、効率の良い歩行が可能になったと考えられる。少ないエネルギーでの歩行は股関節可動域、股関節トルク、大臀筋の最大筋張力の低下につながり、これらがいまわって歩行能力が改善したと推測される。