

腰痛症に関する筋生理の基礎知識と筋トレーニング対策

大西祥平、八木柴、木下訓光、勝川史憲、山崎元、若野紘一

はじめに

腰痛症は西欧社会で最も一般的で非常に医療費の高い疾患である。年齢を問わず腰痛を生じ、運動選手にもみられる。腰痛の原因は非常に幅広いが、腰椎の周囲の軟部組織の脆弱性が一次危険因子となる。背筋の筋力強化は腰痛症のリハビリテーションの重要なポイントとして古くから認められている。それゆえ腰部背筋の筋力と筋持久力の改善に必要な基本的生理学知識は重要である。さらに筋力トレーニングは筋力アップだけでなく結合織の強化にもつながる。

新技術として、筋力測定手技の標準化とコンピューター化したダイナモメーターは腰部背筋力の筋力と筋持久力を決定するための新しい評価技術を有する。腰部の伸展力測定には力の強い臀筋とハムストリング筋が関与するため複雑となることから、MeyerとGreenbergは腰椎・骨盤リズムすなわち腰椎の伸展に骨盤の回転が加わった複合動作が腰部背筋力測定時に関与することを指摘した。新技術は現在骨盤の動きを抑えて背筋単独のトレーニングを可能とし、効果的に腰部背筋のトレーニングができるようになった。

背筋力測定および筋力トレーニングによる筋力強化と維持に関する生理的基本原則について総括した。さらに著書らの固有の腰部伸展筋力の多くのテストと研究成果を踏まえている。男性と女性両方の背筋力曲線も掲載した。さらに腰部背筋力の評価や強化についての重要な因子、すなわちスタティックやダイナミックテストの技術そして筋線維の疲労特性さらに頭や体幹の重量の補正、貯蔵エネルギーについての概念、腰部背筋力曲線と

腰部背筋力単独のトレーニング効果についてなどを概説した。

基本的な筋生理学とレジスタンストレーニングの原則

筋力・筋持久力

筋力は一般的に筋肉が発生する最大の力、張力を意味し、筋持久力は最大下で繰り返し収縮運動をおこなう能力をいう。それぞれは腰痛症や障害の治療と予防に重要な役割を有する。また筋力と筋持久力はレジスタンストレーニングにより改善する。レジスタンストレーニングの理論は単純であり、より強い負荷を与えれば筋力はより強化される(過負荷の原則)というものである。しかしどのような生理学的過程で強くなるかは非常に複雑であり、神経系、ホルモン系、生化学系の順応が関与する。

筋量の増加に加え、神経系の順応は筋力や持久力の改善に大きく関与する。定期的な運動は筋収縮を調節する神経機能を高める。これにより主に運動単位動員の増加と発火頻度の増加が生じる。レジスタンストレーニングは知覚神経を介した防御機能(ゴルジ装置受容体反射)を鈍化させる。筋肥大と神経順応の筋力増加への関与の度合は筋力増加の時間経過で異なる。すなわちレジスタンストレーニングの初期段階(最初の3~4週間)では、筋力増加は主に神経系の変化によるが、この時期を越えると筋肥大が筋力増加の主たる要因となる。このことは非常に重要な意味を持っており、筋肥大を中心に考えた場合はレジスタンストレーニングプログラムの期間の長さを考慮しなけ

ればならない。

筋線維タイプ

筋線維のタイプは筋力と持久力を考える上で次に重要な因子である。骨格筋の大部分は数種類のタイプの筋線維が混在する。筋の能力、特性は異なった筋線維の分布の違いにより決定する。筋線維のタイプは幅広いスペクトラムを有するが、一般的に3つの基本的なタイプに分類する。主に遅筋線維からなる筋肉は(タイプ)は最大筋力発生に限界があるが、筋持久力によりすぐれた性質を有する。速筋(タイプ a、 b)は筋持久力よりは最大筋力発生にすぐれた性質を有する。タイプ は酸化能力に非常に高く、タイプ bは解糖能力(無酸素性)が高い。タイプ aの筋肉はトレーニング内容によって、より酸化能力が高まるか、より解糖能力が高まるかのどちらかが決定される。筋肉がタイプ とタイプ の半々の混合であれば、筋力および筋持久力両方の中等度の能力を有する。

筋線維タイプの組成により筋肉の能力が決定されるが、レジスタンストレーニングはその性質を改善する。主に速筋は遅筋に比べ最大筋力の増加と筋肥大がみられ、遅筋は筋持久力を増す。

レジスタンストレーニングについて

レジスタンストレーニングに対する生理反応は筋力と筋持久力の改善と筋量、骨量、結合織の増加を含む。さらに筋肉内の有酸素系、無酸素系の代謝物と酵素の貯蔵量の変化と運動単位の動員の強化をもたらす。筋肉量の増加は主に個々の筋線維が肥大し、筋細胞内の収縮蛋白の合成促進によっている。筋肥大を引き起こす鍵は筋が生み出す力または張力の増加である。筋張力の増加が関連する骨や結合織細胞の増殖をもたらす。

レジスタンストレーニングは筋肉の代謝特性を変化させる。高い強度のレジスタンストレーニングで、リン酸化合物と解糖系基質と無酸素系解糖代謝の酵素活性が増加する。さらに長期間、高い強度の筋力トレーニングを行うと有酸素性の酵素活性が減少する。これらの変化は筋肉の有酸素能

を低下させ、筋線維はタイプ aからタイプ bに移行する。一方、中等度以下の運動では有酸素能に必要な酵素活性が高まる。

レジスタンストレーニングは筋線維動員の順序にも変化をもたらす。運動単位は一般にサイズ順に動員される。すなわち、もっとも大きくもっとも強い運動単位は一番遅く動員されるのである。わずかな力での運動の場合、例えば非常にゆっくり軽いものを持ち上げる場合、遅筋線維の運動単位が動員される。重量や動作速度を上げると、より大きな力を出すため速筋線維の運動単位が動員される。

レジスタンストレーニングの指導には、頻度、強度、量、期間、様式を決めていく。そしてトレーニングプログラムの目標設定により、これらの要素を変え、個々に応じたトレーニング効果をあげることができる。

レジスタンストレーニングの頻度は1週間に行う回数とする。筋力増加に適切な頻度についての研究はあまりないが、一般的に最低週3回は必要である。しかし腰部背筋については最近の研究で週1回で十分とされる。腰部背筋が週1回のトレーニングでよいのは特異的である。これについては後で言及する。

トレーニング頻度は個人の基礎体力により変わる。また理想的なトレーニング頻度にはいくつかの要素が関係する。真っ先に関係するのは回復力である。トレーニングとトレーニングとの間の休息量に影響する。一般的に初心者にとって週3回1日おきのトレーニングは十分な回復が期待できる。

回復力はトレーニング強度にも関係する。一般的により強い運動はより長い休息期間を必要とする。これは運動筋の障害の程度と関連しているようである。トレーニング後の筋肉痛も休息の必要性をあらわしている。もし筋肉痛や疲労感が次のトレーニングまで続いているならば休息は不十分である。このような場合は、重篤な障害やオーバートレーニングとならないためにトレーニングの頻度、強度、量を減らしていく。

トレーニング強度は運動中にみられる筋肉への

過負荷の度合いを参考にする。レジスタンストレーニングの至適運動強度はプログラムの目標により異なる。高い強度の運動では高いレベルの抵抗と少ない繰り返し回数を使用する。一方、低い強度の運動では低いレベルの抵抗と数多い繰り返し回数を使用する。高い強度の運動は筋力を最大にまでアップするよう刺激し、低い強度の運動は筋持久力を上げるのに適している。Flech と Kramerによると、最大6回以下の繰り返し回数は筋力アップに効果があり、20回以上では筋持久力を上げるのにもっとも効果がある。6から20回ではどちらか一方ということなく筋力と持久力両方を改善するよう刺激する。これが多くの専門家が8回から12回までの間でのトレーニングを一般的な体力と筋持久力の増強に有効であると推奨している理由である。また最大筋力の増加は筋持久力の増加を伴うということは注目されるべきである。最大筋力が増加すると、ウェイトを上げるに必要な筋力の割合が低下するからである。

トレーニング量は1回のトレーニングセッションの間で行われる運動の全体量である。これは通常運動セッションでおこなわれる総セット数を意味する。トレーニング時間もトレーニング量とする。文献的には、筋力アップに最大の効果をもたらすには2から5セットの運動量が必要であるとされている。しかし、本質的な筋力の改善は最大努力で1セットの運動量で可能である。最大筋力アップに必要なセット数には意見の一致をみていないが、これはトレーニング強度がセット間で異なる、すなわちすべてのセットで必ずしも最大努力をしていないことがその原因となる。最近の研究で1セットと2セットとの間のトレーニング効果の違いについて、腰部背筋に関してトレーニング効果は同じであったとされる。

トレーニング期間はレジスタンストレーニングプログラムの長さである。トレーニング期間は通常、週数か月数で表現する。既に述べたように、神経系の順応は主にレジスタンストレーニングの初期にみられ、筋肉の肥大はその後に生じる。筋量の著明な増加はレジスタンストレーニングをはじめから約2ヶ月後である。最大に近い改善が

見られるのは少なくとも12週間のレジスタンストレーニングを必要とする。しかし筋力と筋肥大の最大の効果がみられるのはもっと長いトレーニング期間が必要となる。萎縮した、また弱い筋肉では訓練された筋肉に比較して肥大と筋力の改善の度合いはより大きいものが期待される。さらにより早く改善するものである。しかし萎縮した筋肉は最大のポテンシャルまで達するにはかなりの時間が必要であることはいうまでもない。

活動様式はトレーニング時に行われる運動の種類をいう。筋力と筋持久力は等尺性運動またはダイナミック運動により発達する。等尺性運動にて筋力はアップするが、トレーニングを行った角度前後の筋力のみ改善する。よって等尺性運動を行う場合、関節の可動範囲のすべてにおいてトレーニングを行う必要がある。可動域範囲のすべてのトレーニングはゆっくりとした動作のダイナミック運動で行える。ダイナミックトレーニングは短縮性と伸張性筋収縮の2つを意味するが、短縮性と伸張性のトレーニングを両方同時に行う方が片方どちらかを行うより、より大きなトレーニング効果が得られる。

活動様式はトレーニングに使用するレジスタンストレーニングの機具に依存する。さまざまなレジスタンストレーニングの器械は器械が作り出す抵抗の性質により異なる。すなわち1)一定負荷、2)可変抵抗、3)等速性抵抗である。

一定負荷の器械は可動範囲のすべての点で一定の荷重がかかるように作られている。これは一定抵抗、抵抗は連続的に動作する上下肢や体の各セグメントの垂直方向に作用するものであり、と混乱してならない。一定負荷の器械として広く利用されているのはフリーウエイトの器具である。フリーウエイトは手ごろで、多様性があり、使いやすいため、非常に多く使用されている。しかし筋力は関節の動作範囲で変化するため、可動範囲内で弱いところがある場合は利用に制限を受ける。結果として、もっとも弱い関節角度で上げられる重量でトレーニングすることになる。よって筋肉はより強いところでのポジションで最大収縮ができない。このことはフリーウエイトの可動範囲内

での最大の改善をもたらすという観点からすると妥協できることである。フリーウエイトのもう一つの欠点は安全に行うためには補助する人が必要であることである。ウエイトの上げ下げの際に必要な適当な技術なければ、腰背部に障害をもたらす事になるため注意を要する。

可変抵抗の器械は運動筋の理想筋力曲線に抵抗曲線を合わせようとするものである。抵抗はカムとプーリーを用いて変化させ、可動域すべてにおいて機械的長所をトレーニング者にもたすことができる。可動域で最大のトレーニング効果が得られるよう考慮されている。

一定負荷そして可変負荷の両方のトレーニングに、ゆっくりコントロールされた動作で繰り返し行う手法が望ましい。負荷をかけた状態での速い動作はトレーニング効果を少なくするばかりでなく、高い衝撃力をもたらす、障害の危険性が高くなるため注意しなければならない。

等速性抵抗の器械はあらかじめ設定された速度で動作を行うよう設計されたものである。動作速度を一定に保つためには、可動域すべての点で発揮した力と等しい抵抗を筋肉に与えるよう考慮されている。理論的には可動域すべての位置で最大の力で収縮することが可能となる。さらにある運動や活動での動作速度を想定した条件でトレーニングを行うことができる。

主な限界として、等速性運動は全可動域を等速に動かすことが不可能である。等速運動の始まりと終わりに加速と減速が生じる。加速は器械の動作アームに体を接触させ動き始めるときに生じる。また減速は関節動作範囲の限界近くに達したときに生じる。運動を行う上下肢などはあらかじめ設定された速度で動かしていないので、これらの位置では最大の抵抗は加わっていない。まったく異なった加速、減速はダイナモメーターが動作速度をコントロールするときに生じるものである。上下肢があらかじめ設定された速度を越えて加速しようとするときには直ちに器械のアームが遅くしようと部分的にブレーキをかけたり、また逆にゆるめたりして調節する。これが有害な衝撃力を生み出す原因となる。動作が速ければ速いほ

どより大きな衝撃力を生み出すことになる。この衝撃力をトルクオーバーシュートといい、等速性テストにおけるアーチファクトとなる。真の等速性の評価にばらつきが生まれるだけでなく、衝撃力は作動筋およびその周囲の組織に障害をもたらす結果となる。最後に、最近のいくつかの器械を除いて、等速性抵抗の器械は筋収縮の伸張性動作に抵抗を与えることができない。可変抵抗器械の最大の制限は筋力曲線は個人によって異なるため、ある個人には適当であるが、別の個人には不適當であるということが挙げられる。

レジスタンストレーニングプログラムは筋力と筋持久力をアップし続けるためには常に進歩しなければならない。筋力アップには、トレーニング強度を増加または維持する。最大の筋持久力の改善にはトレーニング量は徐々に増やさなければならない。どのケースでも進歩の速度はゆっくりであるべきである。与えられたメニューをこなすことができるようになれば5%毎抵抗を増加させる。これは筋肉や関節など整形外科的障害を最小限に押さえることができる。筋力や筋持久力の改善はトレーニングが継続されなければ期待はできない。トレーニングしなくなると、改善した筋力や筋持久力の多くの部分を失ってしまう。だからトレーニングは系統だって生涯やりとおさなければならない。しかし、一度コンディショニングの新しいレベルに達した場合、筋力、筋持久力の維持はトレーニング量を減らしたとしても可能である。これにはトレーニング頻度の減少も含まれている。最近の膝伸展筋力の維持にトレーニング量の減少がどのような影響を与えるかについての研究で、週3回の頻度で18週間の最初のトレーニングにより得られた筋力は週1から2回の頻度に減らした12週間のトレーニング後も筋力が維持されている。筋力維持の鍵となる要素はトレーニング強度であると考えられる。トレーニング強度が保たれていれば、筋力は維持される。このことから、たとえより長期間すなわち12週間以上、少ない頻度でトレーニングを行ったとしても筋力と筋持久力は上がることはなくても維持することはできるのである。しかし、短期間でも一度トレーニ

ングを休むと筋力や筋持久力の維持は困難で、大切なことは継続することである。

実践的な腰椎伸展機能評価の必要性

骨格筋の主な機能は力の発生である。骨格筋は姿勢を保ち、体を動かす。腰部背筋力の正しい評価には、骨盤を固定する事により腰椎伸展を分離し、そして上体の重さの影響を取り除き、可動域全体の筋力をテストし、安全に且つ信頼できる方法が必要である。

骨盤固定

最初に述べたように、体幹伸展動作のわずかな部分だけが腰椎の動きによる。通常は、腰部背筋より大きな力を発揮する臀筋とハムストリング筋が(骨盤を回転させ)腰部伸展に関与し体幹全体を伸展させる。骨盤の回転と腰部の伸展が合わさった複合動作は腰部骨盤リズムと呼び、動作範囲は約180度である。腰部伸展筋は約72度を体幹を伸展させるにとどまる。

腰部伸展筋と、骨盤を回転させる筋肉を分離するには骨盤の固定が必要である。座位で腰部背筋力を測定するときの骨盤固定の方法として、下肢の力を利用して骨盤の回転を抑制する方法がある。下肢により十分に固定された場合、骨盤の後方への回転は最小限に押さえられる。Schmitは骨盤の固定について、この方法が有効であり、骨盤の固定が不十分であると腰部伸展筋力の測定誤差が大きくなることを示した。さらに腰部背筋の分離のための骨盤固定の重要性については、骨盤固定の有無によってトレーニング効果が違うことから有用であるとした。Gravesでは骨盤を安定させないでトレーニングを行っても、腰部背筋力には変化が見られなかったとした。

重力補正

垂直面での筋力を評価する場合、重力は動作する部位に作用し筋力に影響を及ぼす。頭部、腕部、体幹部の重量は前屈位で背筋力から差し引き、伸展位で加えなければならない。Winterは筋力テ

スト時に重力の影響を考慮に入れなければ、測定誤差は500%を越える可能性のあることを指摘した。腰部背筋力を測定するには25%程度になるとの報告がFultonからだされている。

筋力測定器の幾つかは重力補正のアルゴリズムや機械的な補正器具により重力補正がなされている。しかし、これらの方法が正確であるかどうか十分な検討はなされていない。最近、ポロックは等尺性背筋力テストでの上体の重力補正を行うカウンターウエイト装置を開発した。プロトタイプ腰部伸展機器を用いてカウンターウエイト装置を用いて垂直面での腰部背筋力を測定した。さらにこの測定装置を90度回転させ、カウンターウエイトの必要のない横断面での背筋力を測定した。横断面では重力の影響が無い場合、カウンターウエイトを用いた垂直面での背筋力と同じになることが予想される。74人の対象者に垂直面および横断面での背筋力を測定し、両者の間に差の無いことが確認されている。

全可動範囲での筋力テストの重要性

正常の背筋力曲線は直線であり、屈曲位より伸展位で背筋力は下がり、可動域は約75度である。しかし腰痛患者や器質的障害をもつ例では背筋力曲線のパターンに異常がある。一部の角度で背筋力の低下がみられたりする。一部の位置や範囲での筋力測定では異常をみつけることができない場合がある。また予防やリハビリのためのトレーニングプログラムは可動域にさまざまな影響を与えるため、全可動域の筋力評価は患者のスクリーニングと評価の目的のためには重要なことである。腰痛のための治療を行っている患者の多くは、治療過程で可動域が改善し、全可動域の筋力テストは腰痛の改善のモニターとして重要となる。

全可動域評価の重要性はさらに個々のトレーニングプログラム内容を含めて運動選手にもいえる。例えば、水上スキーは可動域の伸展位すなわち腰部を反らした状態で常に負荷をかけている。この過負荷とトレーニングの特殊性の結果として、水上スキーヤーは前屈位ではなく伸展位で異常に強い背筋力を有している。全可動域の背筋ト

レーニングは一般的に可動域の伸展位で最大の効果をあげている。2週間に1度計10週間の背筋トレーニングを行ったスキースラロームの競技選手の場合、最前屈位で60%筋力は増加し、トレーニング前では最も高い筋力を示した前屈20度での筋力の増加は22%であった。このようなトレーニングによる変化は全可動域の筋力評価のみわかるものである。

ダイナミックエクササイズテストは全可動域の筋力を評価することは不可能である。等張性筋力テストは可動域内での最も筋力の弱い位置の筋力を評価するのに限界がある。等速性筋力テストは可動域の始まりの部分で加速、終わりの部分で減速を生じる。筋力テストでの加減速は全ての等速性筋力テストの特徴とされるベル型の曲線を作り出す要因となっている。等速性筋力テストにより失う筋力に関する情報量は動作速度に依存している。腰部伸展筋力では可動域の50%しか評価されていないのである。

可動域内のダイナミックテストによる筋力評価に限界があるため、等尺性の筋力測定が可動域内の筋力評価に用いられる。腰椎と骨盤の複合的な機能を持つ場合には等尺性筋力テストが用いられてきた。いくつかの角度での等尺性筋力テストにより、全可動域の腰部背筋単独の伸展筋力の測定が可能となる。このテストの長所は信頼性の高さとはばらつきのお少なさ、さらに全可動域の腰部背筋の筋力のプロフィールが得られることなどがあげられる。等速性筋力評価の有用性については疑問視されてきた。なぜならば動作速度をコントロールするためのサーボ機構によるブレーキングやその解除の繰り返しで生じる筋力のオシレーションを数学的処理による評価の必要性があげられる。等尺性筋力テストには動きが含まれないため、筋力発生に際してゆっくりそしてコントロールされた動作であれば衝撃力を生じることはない。

等尺性筋トルク評価は信頼性、有効性そして全可動域の筋トルクの様子の評価において長所を有するものである。しかし数箇所の関節角度で筋力テストを行うため、筋肉疲労という問題が生じ

る。グレースは等尺性背筋力の曲線はテストを行う角度の順番により影響を受けると指摘した。すなわちすでに行った等尺性筋収縮が次に筋トルクに影響を及ぼすということである。この測定する順番という効果は運動トレーニングの内容には影響されない。だからテストの順番が標準化されていけば、いくつかの関節角度での筋力テストは全可動域での筋力の変化の評価に使用可能である。可動域内のいくつかの角度での最大等尺性筋トルクを得ることが必須であれば、筋収縮の間に十分な時間をおいて、十分な回復を得ることが必要である。

等尺性筋力テストの信頼性

テスト結果が有用であるには、テスト自体に信頼性が必要となる。そうでなければ、正常域からの程度離れているか、トレーニングによる変化が有意な差か、それともテスト自体のばらつきや信頼性の欠如によるものかなどの区別ができない。Gravesは72度全可動域の腰部背筋力測定の信頼性と変動性について検討している。男女136人を対象として、3回、日をあけて等尺性腰部背筋力を測定した。1、2回目は20から30分間の休憩をおいて2度の背筋力を測定した。72、60、48、36、24、12、0度それぞれの角度で腰部背筋力を測定した。平均等尺性筋トルクは1回目と2回目との間に筋力の改善がみられ、2回目と3回目との間にないことから、信頼できる腰部背筋力を得るためには練習期間が必要である事を示している。Gravesはこの信頼できる値から男女の正常の等尺性腰部背筋トルク値を発表した。正常曲線は直線で、前屈位から伸展位にかけて低下する。

標準化した方法による筋力測定値の変動幅は5から10%である。この変動は人固有の生体変動と考え、日によって筋力に影響を及ぼすさまざまな要因が原因である。いくつかの重要な要因として睡眠時間、食事との関係、最近の活動状態、精神的ストレス、動機などがあげられる。

多数の関節角度、等尺性筋力テストの信頼性に関する研究により、膝伸展、頸部伸展、体幹および頸部の捻転筋力についても検討が為された。非

常に高い信頼性と低い変動性がすべての筋肉群についてみられた。

安全性

等尺性筋力テストの長所は比較的安全であるということである。ダイナミック運動時のはずみが衝撃力につながり、とくにこのはずみが突然停止したときにも生じるのである。等速性の運動時には動作している体の加速があらかじめ設定した角速度を維持するよう作動アームが一時的に動きを停止させるために衝撃力が生じる。このような状況下での衝撃力はテストのアーチファクトとしてあらわされる。衝撃力は元々危険であり、特に腰痛症患者はさらに危険となる。等速性体幹伸展トルクは動作速度とともに増加する事が報告されている。これは筋収縮時の力と速度の関係という法則に反している。力と速度の関係とは最大筋力は動作速度が増すと減弱するという法則である。これらのデータは生理学的に説明できるものでなく、おそらく等速性運動にともなう衝撃力を実際に区別できない事によるものと考えている。動作速度が大きくなればなるほど衝撃力が大きくなるのである。

腰部伸展純筋力の測定

骨格筋は弾性要素と収縮要素をもつ。弾性および伸展圧迫エネルギーは結合織および骨に貯えられる。筋収縮による筋トルクの測定値は伸展または収縮した筋肉および筋肉に付随する関節など結合織に貯えられたエネルギーと興奮収縮連関による力を合わせたものである。筋肉の弾性および収縮特性についての研究はなされてきたが、この二つの生体で dynamometry を用いて分離し、評価されてはいない。

座位の腰部伸展筋トルクは自発的および非自発的な収縮からなる。非自発的なトルクとは屈曲した状態で脱力するよう指示されたときに生じるトルクをいう。おそらく、この非自発的な貯蔵エネルギーは完全に伸展した腰部伸展筋の弾性エネルギーの総和をあらわしている。腹部を圧迫する事による体幹への上向きの力、体幹への重力による

下向きの力がこれに含まれる。

腰部伸展時の測定された筋トルクの非自発的、自発的要素の検討について以下の事を行った。被験者を腰部伸展器械に座らせ、ある角度で体幹を保持した際、被験者には完全にリラックスを指示した後、得られた非自発的な筋トルクを貯蔵エネルギーとしている。

コンピューターにより非自発的筋トルクが記録された後、被験者には最大の力を発揮するよう指示を出す。最大のまたはトータルの筋トルクは筋肉の収縮により発生したトルクと非自発的なトルクが合わさったものである。測定されたトータルの筋トルクから非自発的なトルクを差し引いた値を純筋トルク (net muscular torque) という。

この方法により、72度の可動域において測定を行い、トータル筋トルクと純筋トルクを比較した。2つの曲線との間が可動域内での腰部を伸展させたトルクをあらわしている。非自発的トルクはトータル筋トータルの20%を超える。

純筋トルク概念はユニークであり、それは筋トルク測定に影響を及ぼす他の因子を除外した自発的な筋収縮により発生したトルクを表現しているのである。ダイナミックなトルクの測定には制限があるため、等尺性の方法のみ純筋トルクを測定する事が可能である。純筋トルクを評価する事は腰部機能の解釈やモニタリングの能力を改善する事につながる。

腰部伸展に関する疲労特性

骨格筋の疲労特性については詳細に研究し、報告されている。骨格筋の疲労特性は骨格筋の線維タイプに大きく依存する。筋生検で筋線維のタイプ別を行うのがもっとも一般的な方法である。しかしこの方法は浸襲的であり、精巧な生化学機器や訓練された人が要求される。よって一般的には実践的でない。さらに連続体である線維タイプを鑑別する能力には技術的制限があり、評価に十分な量の筋肉が得られないため、人ではばらつきが非常に大きくなる。さらに筋生検による組織化学分析は筋線維タイプ組成を量的に表現する一方、筋肉の能力を評価することはできない。

腰部背筋の疲労特性は3つの部分からなる方法で評価できる。この方法は疲労反応テストと呼ぶ。被験者はまず骨盤を固定させた状態に座らせる事から始める。それから複合関節角度での等尺性背筋力を全可動域で測定する。測定後、直ちにあらかじめ設定した重量でダイナミックエクササイズを行う。等尺性背筋力テストでの72度で得られた最大筋力の50%の負荷重量を我々はもっともよく使用する。エクササイズの終了はこれ以上繰り返してウエイトを挙げる事ができなくなった時点とする。この際のエクササイズの方法として、背筋の収縮時、すなわちウエイトを挙げるときは、2秒かけ、そして挙げたポジションで1秒静止し、ウエイトを下げるとき、4秒かける、このようなリズムでトレーニングを行う。トレーニング後、60秒以内に次の等尺性背筋力テストを行う。ダイナミックエクササイズを挟んだ2回の等尺性背筋力テストの結果を比較検討する。

被験者の疲労反応は図に示す如くとなる。下の2本のラインではダイナミックエクササイズを行った後の方が等尺性背筋力は8%程度増加している。上の2本のラインではダイナミックエクササイズ後45%等尺性背筋力が低下している。中等度の疲労を示している。両者ともトレーニング重量は200ポンドと同じであったが、筋線維タイプの違いが疲労の違いを表していると考えられる。骨格筋の筋線維タイプと疲労との関係は良く理解されているところである。

最近、頻回に物を持ち上げるような仕事に就く人に対して、どれだけ耐える事ができるかという事で就業前に最大トルクを求めて、これを目安に使っている。この理論的根拠は繰り返し重量物を持ち上げるような環境で腰部に障害のない人たちは強い背筋力を有しているということから由来している。しかし強い人の方が障害の頻度が高くなっているという事実もある。これは強い人はより早く疲労するという事実による可能性がある。だから強い人たちがハイリスクの仕事により多く従事している事を見逃してはいけない。

最大トルクよりも疲労反応テストの方が個々の腰部障害のリスクの指標に良いと考えられる。僅

かの回数で筋力が大きく減少する場合、非常に重いものを持ち上げる能力を持つにもかかわらず、繰り返し物を持ち上げる仕事には適していない。このように疲労反応テストは通常社会での腰部機能評価に有効な検査である。加えて、疲労反応の特性は筋力の増強と維持のためにレジスタンストレーニングの適当な指導内容の決定に重要である。

疲労反応テストでの約70%の人の筋力低下は10から20%程度である。そして約10%の人は疲労しにくく、筋力低下は10%以下である。一方残り20%の人は疲労し易く、筋力低下は25%以上となる。筋力低下が25%以上と強い疲労を示す人は、非常に強い筋力を持っているか、腰痛症を抱えているかのどちらかである。疲労反応が強い場合、少ない頻度(6-8回)でトレーニングを行うのが良く、疲労反応の少ないまたはない場合はより多い頻度(15-20回)でトレーニングする方が適している。筋持久力と腰痛のリスクと腰痛トレーニング内容との関係を今後さらに検討を加えてゆかなければならない

腰部のトレーニングによる反応

腰痛症の無い人の背筋トレーニング

ここでは腰部背筋単独の運動トレーニング5年間の経験について述べる。文献的に、推奨すべき運動内容を比較検討した。

我々は最初のトレーニングに関する研究で、25人の健常人(男子18人、平均年齢33歳と女子7人、平均年齢22歳)を対象として行った。これら被験者の内15人は10週間週1日のトレーニングを行うグループ、10人は運動を行わないコントロール群とした。全可動域、最大努力で6~15回の繰り返し回数の1セットをトレーニングとした。両グループともトレーニング前後で等尺性背筋力を複数の角度で測定した。

運動グループの方が有意に背筋力が増加するという結果を得た。それも全可動域で認めた。興味深い所見として腰部背筋力のトレーニングの反応についてである。72度すなわち最前屈位で42%、

0度すなわち最伸展位で102%の筋力増加は他の筋肉群のトレーニング後にみられる筋力増加の程度に比べてはるかに大である。FleckとKramerによると等尺性または等張性筋力テストを用いたトレーニング後の増加の程度は20~30%である。非トレーニング者や筋力の無い人ではトレーニングを積み最大筋力に近いレベルを有する人に比べれば、筋力の増加率は高いことは解っている。最近のレジスタンストレーニングの指導内容のレビューではトレーニング効果を評価するとき、このことを考慮に入れておく必要性を指摘している。このように、腰椎伸展筋がトレーニングによる反応が大きくトレーニング前の筋力が非常に弱いのである。もう一つ注目すべき点として、トレーニングを行った15人の内10人は既にノーチラスのトレーニング機器ノーチラスバックマシンを使用していた。もしこのノーチラスによるトレーニングが十分であれば、これだけの筋力の増加は見られなかったはずである。

腰椎伸展筋力の異常なほどの筋力増加はどのように説明するのであろうか。理にかなった説明としては、従来の方法では背筋力を強くしたり、維持する事ができなかったからであろう。従来の方で用いたトレーニング機器は骨盤を固定して下肢筋力との関係を断ち切っていなかった。この章で既に述べたように、正しく骨盤を固定しないと、背部筋より大きく強い臀筋とハムストリング筋群が体の伸展に大きな役割を担うことになる。このような状況は背筋をギブスに入れたのと同じことである。すなわち筋肉は使わなくなり、その結果、萎縮し細くなってしまふのである。このように腰椎の伸展筋は筋肉自体が有している最大能力まで発展させられることなく、慢性的な不使用のため萎縮しているのである。このことは腰痛の予防やリハビリに重要な意味をもち、腰椎伸展筋が腰部をプロテクトする筋肉の鎖としての連結が弱いからである。

本研究でみられた筋力増強の程度は生化学、組織化学的な適用による肥大が関連しているかどうかについての研究はない。しかしモリタニらによると筋力の改善に関して時間経過をみると、早期

の筋力回復には神経因子が関与し、その後に筋肥大を生じる。すでに述べたように、トレーニング頻度はレジスタンストレーニングの運動指導内容の重要なポイントである。多くの専門家は週3回のトレーニングを勧めている。われわれの当初の研究では非常に大きい筋力増加に週1度のトレーニングで十分であった。トレーニングの頻度の多少が異なった反応をもたらすのか？この質問に対する回答として、男子72人(年齢31才)、女子42人(年齢28才)に対し12週間トレーニングを行った。トレーニング頻度は2週間に1度、1週間に1度、週に2度、週に3度、そしてトレーニングを行わない対照群を設定した。各々のトレーニングは全可動域での1セットとし、8回から12回までで疲労困憊する重量を設定して行った。対照群と比較するとすべてのトレーニング群で背筋力は増加しているが、2週間に1度のトレーニングのみがやや筋力の増加の程度は少なかった。その他のグループでは差がみられなかった。週に2ないし3度のトレーニングを長期間行った場合はどうか、さらに12週間に加えて8週間のトレーニングを行った。結果では差がなく、より少ない週1度のトレーニングで十分であることが確認された。12週と20週間のトレーニング後の等尺性背筋力曲線を見ると、ほとんどのケースで背筋力は増加している。さらに20週間後をみると最も屈曲した位置72度では背筋力に差はみられなかったが、それよりも伸展した位置48度から0度ではさらに増加がみられている。72度と0度との筋力比はトレーニング前2.3:1であったのが、12週間で1.6:1、20週間で1.4:1となっている。このような筋力曲線の平坦化がトレーニング後にみられることは中等度からより伸展した位置までの筋力がトレーニング前では不釣り合いに弱いことを意味している。さらに重要な点は、この研究からわかることであるが、全可動域でのテストならびにトレーニングの重要性である。

腰部伸展筋力増加に対する等尺性トレーニングの特異性を評価するために、14人のボランティアを対象として、テストで用いる角度で等尺性トレーニングを行った。12週間、週1度の等尺性ト

レーニングを行ったグループとダイナミックトレーニングを行ったグループとを比較した。両グループとも同様の結果であり、複数の関節角度でのトレーニングもダイナミックトレーニングと同じ効果が得られることが確認された。ダイナミックエクササイズは複数の角度での等尺性トレーニングに似せてできるだけゆっくりと動作を行うのがよい。さらに可変抵抗は全可動域でのトレーニングに非常に効果的である。等尺性トレーニングがダイナミックな可変抵抗を用いたトレーニングは腰部伸展筋力の増強に非常に有用である。また定期的な等尺性筋力の測定もトレーニングする者にとって変化が確認でき刺激するものである。

腰部伸展筋のトレーニング量について、110人のボランティアに週1回12週間、1セットまたは2セットのトレーニングを行わせた。セット数にかかわらず筋力の改善がみられたが、セット数との間に差がなくセットを増やすことの効果はみられなかった。また3セットの方がよいかどうかは不明であるが、時間とコストの関係から推奨できるものでない。腰部伸展トレーニング時、骨盤固定の有無の腰部伸展筋への影響をみるため、健康な72人の男女、平均年齢31.8才に週1回12週間のトレーニングを行った。4グループに分け、各々Eagle (n = 19; Cybex), Nautilus (n = 19; Nautilus Sports Medical Industries), Medx (n = 19; Ocala, Fla)の各トレーニングマシンを用いた群と対照群(n = 15)とした。Medxのみが骨盤を固定し腰部伸展筋肉を下肢筋肉と分離する。どのグループも有意にトレーニング重量は増加したが、トレーニング前後での等尺性背筋力はMedxのみ増加した。このデータから骨盤固定は腰部伸展筋を効率良く改善するための必要性が示された。骨盤固定を行わない方法でのトレーニング重量の増加は主に大臀筋とハムストリング筋の筋力増加によるものである。

予防やリハビリの分野で筋力維持に必要なトレーニング量は重要な関心事である。一般的には有酸素および筋力トレーニングともに、筋力維持に必要な運動量は最大筋力に到達するための運動量より少なくすむ。筋力維持のキーポイントは継

続であり、トレーニングの頻度や時間を減らしても明らかな体力は低下しないのである。Gravesは50人の健康なボランティアにたいして週2～3回18週間膝伸展のトレーニングをさせた。その後、トレーニングを中止したグループと週1～2回のトレーニングを続けたグループとに分け検討してみると、トレーニングを中止することによりトレーニングで得られた筋力の68%が失われ、トレーニング量は減らしたがトレーニングを続けたグループは筋力を維持していた。以上のことは長期間にわたってのフィットネスやリハビリプログラムに重要な示唆を与えるが、腰部伸展筋では週1回のトレーニングが必要であるという根拠は何か。この間に対して、Tucciは50人のボランティアに10-12週間のトレーニングを行った。一定期間のトレーニング後、トレーニング中止グループと2週間に1度、4週間に1度とトレーニング頻度を減らしたが継続した2つのグループに分けた。トレーニング中止グループの筋力は全可動域で低下した、一方トレーニング頻度を減らした2つのグループの筋力は維持された。この研究により、ある筋力レベルに達した後の予防やリハビリでは、月に1度の外来受診で十分である。外来通院の忙しい人達にとって、長期間のトレーニングを続けていく上でコスト面に非常に有利となる。全可動域テストの重要性はトレーニング量を減らした研究で明らかである。すなわちピークトルクのみでは、自ずと結果の説明には限界がある。なぜならばトレーニング中止グループのピークトルクが筋力増過分の89%を失ったが、最も筋力の弱い部分では約60%維持されていた。トレーニング頻度を減らすことは長期の予防やリハビリプログラムの実行に重要な意味を持っているので、少ない頻度のトレーニングを長期間にわたって行い、その結果を評価する研究が必要となる。4週に1度のトレーニンググループでは後半の24度の筋力が減少する傾向があるため腰部背筋の全可動域の筋力維持に必要なトレーニングとして最小限度の頻度であるといえる。

慢性腰痛症患者のトレーニング

これまでの大部分のトレーニングに関する情報は腰痛症のない健康な被験者からであった。この章では慢性腰痛症患者のわれわれのトレーニング研究について述べる。12人の慢性腰痛症患者、平均年齢41才、は少なくとも2年間以上、軽度の腰痛症を自覚していた。今回は腰部背筋単独の筋力増強と症状の軽減にどのような影響を及ぼすかについて検討した。7つのポジションで等尺性背筋力を測定し、臨床所見と自覚症状をみた。最大繰り返し回数10から15回を週1回計12週間のトレーニングを行った。腰痛患者の各角度毎の等尺性筋力はすべての角度で有意に増加した。対照群である健常人は、腰痛患者に比べて0から24度の間でややより高くなったのみであった。トレーニング重量は腰痛患者で60から101kgへ、対照群では68から110kgへと増加した。

この研究で得られた重要な事実は慢性腰痛症がトレーニングにより改善したことである。このように軽度の腰痛症例はかならずしも正常者に比して背筋力が低いとは限らず、またトレーニングによる反応は同様である。さらに重要なことは、腰痛がこのトレーニングにより軽減したということである。

腰痛患者の症状が改善するといわれるが、少数の、しかも無作為抽出した対照群を用いての研究ではない。そこで慢性腰痛症55人を対象とした無作為抽出臨床研究が行われた。22から65歳の範囲の被験者に65ヶ月間のトレーニングを行った。被験者の46%は腰痛症のため仕事ができず、35%は労働保障を受けていた。この研究を始める前に、症状の調査を行い、さらに腰部背筋等尺性筋力を測定した。被験者は10週間のトレーニング群とトレーニング待ちの群に分けられた。トレーニング群は週に2回4週間筋力トレーニングを行った。次いで週に1回6週間のトレーニングを行った。対照群はトレーニングを行わず、日常生活スタイルを変えないよう指導された。

両群間で筋力、治療歴、痛み、心理的ストレス、活動レベルには治療前において差はなかった。治療の結果、筋力トレーニングを行ったグループは全可動域で等尺性背筋力が増加した一方、対照群

では変化がみられなかった。自己報告である症状については、トレーニンググループで症状が対照群に比べて著明に減少した。このように無作為抽出による臨床研究において、筋力トレーニングを行うことにより、筋力の増加とともに症状も改善していることが明らかにされた。

レジスタンストレーニングを徐々に強くしていくことにより、腰部背筋力が効果的に増強され、一次予防および二次予防において有効である。多くの腰痛患者の可動域は狭く、狭い範囲での筋力トレーニングが全可動域の背筋力を増すことができるか検討する必要がある。そこで58人の無作為抽出した健常男女(平均年齢30歳)を3種類のトレーニンググループ3群とトレーニングを行わない対照群に分けた。トレーニングは週1回12週間としたが、可動範囲を72度から36度まで(A群)、36度から0度まで(B群)、そして全可動域すなわち72度から0度まで(AB群)に分けた。トレーニング前に等尺性背筋力を各角度で測定した。トレーニング後の結果をみると、どの群も対照群に比べてすべての角度で筋力は明らかに増加した。さらにA群B群AB群ともにトレーニングを行った範囲の角度で筋力がもっとも大きく増加した。この結果は運動の特異性と効果に関して理解しうるものであった。

以上の結果により、可動域に制限のある筋力トレーニングは制限周囲の位置においても筋力の改善がみられるということが確認された。腰痛などによりトレーニングが行えない角度においても筋力が改善されるのである。

多くの腰痛症者は脊椎の可動域制限を有し、上記の結果はリハビリのプログラムに重要な示唆を与えるものである。筋力が弱い場合可動域に制限のある患者もトレーニングの範囲を超えてよい影響をもたらす、可動域が広がることが期待できる。

文献

1)Malmivaara A, Hakkinen U, et al: The treatment of acute low back pain - bed rest, exercise, or ordinary

activity? N Engl J Med 1995;332:251-5

2) Latash ML: Spectral analysis of the electromyogram (EMG) in spinal cord trauma patients. Electromyogr.clin. Neurophysiol 1988;28:319-327

3) Kothiyal KP, Ibramstha M: Fatigue in isometric contraction in a single muscle fibre: a compartmental calcium ion flow model. J Biomechanics 1986;19:943-950

4) Hawkins DA, Hull ML: An activity-recruitment scheme for use in muscle modeling. J Biomechanics 1992;25:1467-1476

5) Sihvonen T, Partanen J: Electric behavior of low back muscles during lumbar pelvic rhythm in low back pain patients and healthy controls. Arch Phys Med Rehabil 1991;72:1080-1087

6) Floyd WF, Silver PHS: Electromyographic study of patterns of activity of the anterior abdominal wall muscles in man. J Anatomy 19 ;84:132-145

7) Andersson BJJ, Ortengren R, et al: The sitting posture: an electromyographic and discometric study. Orthopedic clinics of north america 1975;6:105-120

8) Donisch EW, Basmajian JV: Electromyography of deep back muscles in man. Am J Anat 19 ;133:25-36

9) Zuk T, Poland W: The role spinal and abdominal muscles in the pathogenesis of scoliosis. J Bone Joint Surgery 1962;44B:102-105

10) Floyd WF, Silver PHS: The function of the erector spinae muscles in certain movements and postures in man. J Physiol 1955;129:184-203

11) Waters RL, Morris JM: Effect of spinal supports on the electrical activity of muscles of the trunk. J Bone Joint Surgery 1970;52A:51-60

12) Wolf SL, Basmajian JV, et al: Normative data on low back mobility and activity. Am J Phys Med 1979;58:217-229

13) Andersson GBJ, Ortengren R, Nachemson A: Intradiskal pressure, intra-abdominal pressure and myoelectric back muscle activity related to posture and loading. Clin Ortho Rel Res 1977;129:156-164

14) Morris JM, Benner G, Lucas DB: An electromyographic study of the intrinsic muscles of the back in man. J Anatomy 1962;96:509-520

15) Graves JE, Pollock ML, et al: Quantitative assessment of full range-of-motion isometric lumbar extension strength. Spine 1990;15:289-294