2

筋力増強運動の基本と実際

Foundation and Practice of Muscle Strength Exercise

木藤伸宏* 金口瑛典* 小澤純也*

Nobuhiro Kito

Akinori Kaneguchi

Junya Ozawa

Key words : 筋力検査／筋力増強運動／処方

要旨

筋力維持と増強のための治療法は、関節可動域運動とともに身体機能障害に対する理学療法の2大治療手技として、現在に至るまで臨床で用いられている。本稿では以下の内容に沿って、筋力増強運動の基礎と具体的処方について示した。すなわち、筋力の検査、筋力増強運動の基礎理論、筋力増強運動の処方である。なお、筋力増強運動の処方については、負荷と回数設定、方法について具体的に述べた。筋力増強運動は方法論ありきではなく、必ず治療者による評価と再評価によって、処方する運動の選択と負荷量と回数の設定を行いながら進めるべきである。また、高齢者や筋骨格系に病態を有する者は、あらかじめ負荷を低く、少ない回数で安全性を重視したうえで行う。

はじめに

筋力維持と増強のための治療法は、関節可動域運動とともに身体機能障害に対する理学療法の2大治療手技として、現在に至るまで臨床で用いられている。身体運動を理解するためにオイラーモデルで表現し、肢節や体節の運動を起こす要因として筋力という筋機能の一側面を重要視してきた。しかしながら、身体運動をオイラーモデルとして捉えることには限界があり、運動制御モデルが構築され、筋力より運動制御における筋機能の協調性が重要視される傾向になった¹⁾。筋機能の協調性とは力の要素、空間的要素、時間的要素からなり、筋力を効率よく発揮するためにはこれら3つの要素が協調的に作用することが重要である²⁾。筋に関する優れた基礎研究や臨床研究によって新たな知見が得られているが、本稿では筋力増強運動の基

礎と具体的処方について示す。

筋力の検査

臨床で簡便にできる筋力検査法として徒手筋力測定 (manual muscle test : MMT) がある。MMT は単関節運動による筋の動的側面を測定している (図1)。筋の収縮は筋原線維レベルではサルコメア張力に依存する。そこには力-長さとし力-速度の関係が存在する。筋線維レベルでは筋線維張力に依存する。それは筋線維数、筋線維タイプ、筋線維横断面積が影響を与える要因である。筋 (筋束) レベルでは筋張力に依存する。それは収縮要素、筋横断面積、筋長、筋アライメントが影響を与える。筋は腱に接続される。腱組織は弾性体であるため、筋の張力は、腱のコンプライアンスが加味されて関節運動が生じる。関節レベルでみていくと、筋張力と腱の弾性要素によって関節トルクが生み出される。これらのことより MMT は関節レベルでモーメント (トルク) を段階的に格付けする方法であるといえる (図2)。MMT は定性的に測

* 広島国際大学総合リハビリテーション学部
(〒739-2695 広島県東広島市黒瀬学園台 555-36)
E-mail : n-kito@hs.hirokoku-u.ac.jp

図1 筋力発揮：筋原線維レベルから関節レベルへ

臨床で遭遇している筋力とは単関節レベルで発揮できているモーメント（トルク）である。（九州看護福祉大学大学院 加藤浩教授から提供）

図2 膝関節伸展運動と股関節伸展運動の力学

MMT は単関節運動時の関節モーメントを筋力として表している

定する検査方法であるが、Bohannon³⁾は hand-held dynamometer を用いて定量的測定方法を確立し、臨床においても定着している。その他の定量的に測定する方法として、テンションメーターによる等尺性関節運動の測定、トルクマシーンによる等速性関節運動の測定、フリーウェイトを用いた等張性筋力測定などがある。

動作自体の出来高から筋力を定性的に評価でき

る。片脚起立、スクワット、フォワードランジを行い、そのときの身体平衡、バランス調節能力、肢節・体節のアライメントなどを評価することで理学療法実践に重要な情報を得られる。しかしながら、動きを見る視点や臨床推論能力が求められ、かなりの習熟度が必要である。また、定性的な評価であり、検者間でその解釈が異なることもある。そこで、動作時の関節モーメントから動作時に発揮さ

図3 下肢の外部関節モーメント

矢状面 (a) をみても、外部モーメントとして膝関節には $F \cdot k$ (Nm) の屈曲モーメント、股関節には $F \cdot h$ (Nm) の屈曲モーメントが作用している。この肢位を維持するためには、外部モーメントと等しい膝関節内部伸展モーメントと股関節内部伸展モーメントが働く必要がある。膝関節内部伸展モーメントを膝関節伸展筋群、股関節内部伸展モーメントを股関節伸展筋群によって生み出されるとすると、関節モーメントから筋力を推定することが可能である。前額面 (b) をみても、外部モーメントとして膝関節には $F \cdot k$ (Nm) の内反モーメント、股関節には $F \cdot h$ (Nm) の内転モーメントが作用している。この肢位を維持するためには、外部モーメントと等しい膝関節内部外反モーメントと股関節内部外転モーメントが働く必要がある。股関節内部外転モーメントを股関節外転筋群によって生み出されるとすると、関節モーメントから筋力を推定することが可能である。膝関節内部外反モーメントについて、膝関節前額面を走行する大きな筋は存在しない。よって、このモーメントは軟部組織や膝関節内側コンパートメントの圧縮力によって生み出されていると推測できる。

れている筋力を推測する方法が有用である。日常の身体運動では動きの変化がそれほど大きくない。よって、身体に働く外力として、加速度よりも床反力が身体重心に作用する外力のほとんどを占める。このため若干強引であるが、その瞬間の姿勢が平衡するためには、床反力からの外部モーメントとその関節を保持するための内部モーメントが釣り合っていると考えることができる。内部モーメントには筋張力の他に、靭帯などの静的構成要素、関節面同士の接触などが影響を与えることを考慮しても、発揮されている筋力を推測することができる (図3)。

筋力増強運動の基礎理論

筋力増強運動を効果的に行うためにはトレーニング

ングの原則に従って行うことが重要である⁴⁾。

①過負荷の原則

通常使用する筋力よりも高い負荷を課さなければ筋力増強は期待できない。そのためには1 RM (1 repetition maximum: 1 RM) を計測したうえで、適切な負荷を設定する必要がある。

②漸増負荷の原則

筋力増強運動により筋力が増えた場合、負荷を再設定する必要がある。筋力増強運動を行う前に必ず1 RM の計測を行ったうえで、その日の負荷を設定することが原則として望ましい。

③反復性の原則

筋力増強運動は、即時的効果は期待できない。このことは高齢者や病態を有している者ほど顕著である。そのため、適切な負荷での筋力増強運動

表1 等尺性筋力強化における強度と時間⁵⁾

運動強度 (最大強度に対する割合)	筋収縮持続時間 (s)	
	最低限度	適正範囲
40~50%	15~20	45~60
60~70%	6~10	18~30
80~90%	4~6	12~18
100%	2~3	6~10

を反復して行うことが重要である。

④特異性の原則 と ⑤意識性の原則

ただ単に筋力増強運動を繰り返しても効果は少なく、その目的を明確にもつ必要がある。生物は与えられた負荷に見合った適応現象を起こす。よって、何を改善するのか明確にする必要がある。例えば、運動初期での筋力発揮を高めるのか、筋持久力を高めるのか、それとも運動範囲全般を通して筋力を高めるのか、その目的を処方する側、患者側が共通認識をもっておくことが重要である。

⑥個別性の原則

運動の効果には年齢、性差、体格、体力、技術レベル、経験、健康状態、精神状態など多くの要因が関係する。生物学的にホモサピエンスとして同じであっても、患者は人間として一人ひとり異なる。よって、上記の要因を考慮したうえで、その人間に合った運動処方を行わなければ効果を得ることはできない。

⑦全面性の原則

特定の筋、特定の運動のみに焦点を当てることは、長期的にみると筋や運動を起こす関節に可逆的変成を起こすことにつながる可能性が高い。よって、全体的にバランスよく筋力増強を図ることが重要である。

筋力増強運動の処方

筋力増強運動は通常「過負荷の原則」に基づき、筋の収縮様式の違いによる負荷量、頻度、回数（収縮時間）について設定する。

表2 DeLorme らの漸増抵抗運動⁶⁾

重錘抵抗運動 load-resisting exercise		
セット数	回数	負荷
1	10 回	10 RMax ^(*1) の 50%
2	10 回	10 RMax の 75%
3	10 回	10 RMax
重錘抵抗運動 load-resisting exercise		
セット数	回数	負荷
1	10 回	10 RMin ^(*2) の 200%
2	10 回	10 RMin の 150%
3	10 回	10 RMin

*1 10 RMax (10 repetition maximum) : 全関節可動域を 10 回連続して運動し得る最大の負荷の大きさ

*2 10 RMin (10 repetition minimum) : 全関節可動域を 10 回連続して運動するために必要な最小の負荷の大きさ

1) 負荷設定

筋力増強の条件は、運動の強度、運動の持続時間、運動の頻度がある。Hettinger の研究⁵⁾によれば、筋力維持には最大筋力の 20~30% 以上の負荷、筋力増強には最大筋力の 40~50% 以上の負荷が必要とされる。さらに、筋収縮持続時間の範囲も提示されている(表1)。一方、DeLorme ら⁶⁾は等張性運動における漸増抵抗運動 (progressive resistance exercise) の理論を報告している(表2)。筋力増強のための負荷の最低基準は「最大筋力の 40% 以上」が必要とされている。米国スポーツ医学会のガイドライン⁷⁾では、健康な成人のための筋力トレーニング強度として 8~12 RM で最低 1 セット、週 2~3 回の運動頻度を推奨している。50~60 歳の高齢者や低体力者は 10~15 RM で最低 1 セット、週 2~3 回の運動頻度を推奨している。

臨床では筋力増強も重要であるが、筋群の空間的要素の改善も重要となる。例えば、股関節外転運動に関与する筋群として、大殿筋、中殿筋、大腿筋膜張筋、外側広筋がある。これらがバランスよく収縮して股関節外転運動が行えることが理想であるが、外傷後や手術後は、ある特定の筋に依存

表3 抵抗運動についてのガイドライン（文献7を改変）

	セット	繰り返し数	運動の種類数	頻度（回/週）
健康で座業の多い人				
1998 米国スポーツ医学会 Position Stand	1 セット	8～12 回	8～10	2～3
1998 米国スポーツ医学会ガイドライン	1 セット	8～12 回	8～10	2（最低）
1996 Surgeon General's Report	1～2 セット	8～12 回	8～10	2
高齢者				
Pollock et al	1 セット	10～15 回	8～10	2（最低）
心疾患患者				
1995 米国心臓協会	1 セット	10～15 回	8～10	2～3
1995 米国心肺リハビリテーション協会	1 セット	12～15 回	8～10	2～3

した運動となる。著者の経験上、筋力増強を行う前に運動に関する筋群の空間的要素改善を優先すべきである。負荷や回数を上げる場合は、空間的要素を確認しながら遂行することが重要である。

2) 回数設定

対象者や目的による筋力増強運動の回数設定について、以下に主な例を示す。対象者が整形外科的疾患・外傷による局所的な筋力低下、またはそれらに対する観血的治療後の著明な筋力低下を有する場合では、目的とする個別の筋の一般的な筋力増強について前述の理論をもとに回数を設定する。健常者における筋力増強には最大挙上負荷 1 RM の 60～65%、通常 4～10 RM が必要とされている。過負荷、疲労、疼痛などの状態を生じないよう、負荷量とあわせて回数を設定する。疼痛がある場合では、設定回数が多すぎるとさらに疼痛を増加させる危険性があるため、運動様式とあわせて注意する必要がある。

高齢者やハイリスクの患者では、全身状態を十分に把握したうえで対象者別に回数を設定することが望ましい。この場合には、積極的な個別の筋力増強ではなく全身の筋力維持・低下の予防が主な目的となるため、低負荷高頻度で実施する。高齢者や心疾患患者における抵抗運動についてのガイドライン（表3）⁷⁾が示されている。高齢者の場合、8～10 種類の運動を組み合わせれば 1 セット

（8～12 回）で十分とされている⁷⁾。

この他、スポーツ選手におけるパフォーマンス向上のためには、正常筋機能以上の機能が必要となるため、観血的治療後早期でも目的とする個別の筋に対して健常者以上の負荷・回数を設定する。また同様に、脊髄損傷患者や下肢切断患者における上肢、体幹による下肢機能代償動作の獲得のためにも、全身状態とあわせて可及的早期より必要に応じた負荷量・回数を設定する。負荷量の設定の項でも述べたが、筋機能の空間的要素の改善も重要となる。臨床ではむやみに回数を増やすことよりも、確実に目的とした筋の収縮が得られる回数を設定する。回数を増やした場合は、空間的要素を評価しながら遂行することが重要である。

3) 方法

筋力増強運動の方法として、錘による方法、マシンを用いた方法、セラバンド、エクササイズボール、徒手抵抗運動、自重による自動運動、電気刺激を用いた方法などさまざまなものが存在する。どの方法を選択し、遂行するかについては、対象者にとって最も適した方法を選択すべきである。実施する際にターゲットとする筋は、少なくとも他の周囲筋より筋収縮により発揮される張力が低いため、高負荷となると必然的に筋収縮力の強い筋による代償運動が生じた状態にてトレーニング課題を実施する可能性が高い。そうすると、より強い収縮

力を有する筋はさらに強化され、ターゲットとした筋収縮力が弱化した筋はあまり強化されず、運動における筋機能の空間的要素のバランスがさらに障害される。

それぞれの方法に一長一短はあるが、必ず治療者による評価と再評価によって、どのトレーニング方法が望ましいかを選択しながら筋力トレーニングを進めるべきである。方法論に答えを求めることは非常におろかなことであり、対象者の中に答えが存在し、答えを取り巻いている複雑なパズルを紐解きながら、対象者に最も適した筋力トレーニングの方法を取り入れていくことを肝に銘じておく必要がある。

文 献

- 1) Shumway-Cook A, Woollacott MH : Motor Control : Translating Research into Clinical Practice. 3rd ed, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2007 ; pp3-20
- 2) 加藤 浩 : 廃用症候群の筋力低下の評価と治療, 筋力 (奈良 勲, 岡西哲夫 編). 医歯薬出版, 東京, 2004 ; pp140-163
- 3) Bohannon RW : Hand-held dynamometry : adoption 1900-2005. Percept Mot Skills 2006 ; **103** : 3-4
- 4) 大塚 潔 : ウェイトトレーニング (1). Training Journal 2014 ; **36** : 40-43
- 5) Hettinger T 著, 猪飼道夫, 松井秀治 訳 : アイソメトリックトレーニング—筋力トレーニングの理論と実際. 大修館書店, 東京, 1970
- 6) 山本泰三 : Delorme が提唱した PRE の再考. 理学療法 2001 ; **18** : 700-707
- 7) American College of Sports Medicine 著, 日本体力医学会体力科学編集委員会 監訳 : 運動処方 の指針 原書第 8 版—運動負荷試験と運動プログラム. 南江堂, 東京, 2011