

透析患者の筋力トレーニングのポイント

——自重筋トレを中心に——

谷本道哉

順天堂大学スポーツ健康科学部

key words : レジスタンストレーニング, 自重トレーニング, 筋肥大, 力学的ストレス, 化学的ストレス

要 旨

慢性腎臓病 (chronic kidney disease; 以降 CKD) 患者はサルコペニア, フレイルの割合が高く, 透析患者では透析実施の長い不活動時間がそれを助長する。サルコペニア, フレイル対策に筋力トレーニング (Resistance Training; RT) は有効な手段となる。自宅で道具を使わずに実施できる自体重を負荷として行う RT 種目は実践しやすさの点で優れている。自重負荷の RT で効果を上げるための工夫, ポイントを以下に 5 つ挙げる。

1. 深く下し切るフルレンジ: 多くの種目において, 深くおろすほど関節トルクが増大する。損傷刺激の増す伸長位での動作を含む。
2. ノンロックスロー法: 持続的な筋力発揮により筋内圧が高い状態が維持される。これによる血流制限は筋内の酸素環境, 代謝環境を過酷にする。
3. 時間を区切って追い込む: 時間を区切ったハイスピードでの挙上は加速度による大きな張力が筋に加わる。それを高回数行うことで代謝的な負荷も増大する。
4. オノマトペを利用: 筋を強く短縮させてより高く上げ切る RT 種目では, その誘導の期待される声出しを利用する。
7. 徒手抵抗: 自体重では負荷をかけにくい引く動作で鍛える背中の筋群には徒手抵抗が有効となる。

以上のポイントは筋疲労による反復限界まで繰り返す「オールアウト」で効果が増大する。オールアウトの実践は CKD 患者向けには敷居が高く感じられるかもしれない。しかしながら, RT は局所的な運動であ

るため, 心肺負荷等の全身性の疲労度はそれほど高くなるものではない。

はじめに

CKD 患者において RT は体力の維持のみならず腎機能改善においても効果が期待できる。より多くの方に安全で効果的な RT を実施いただきたく本稿を執筆させていただいた。なお, 筆者の専門領域は腎疾患ではなく, 運動生理学, トレーニング科学である。ここでは, 主に筋力トレーニングの生理学的な仕組みから, トレーニング方法の解説を行う。リハビリテーションの現場に応用いただく材料として, 腎疾患の臨床知見と合わせて本稿をご活用いただきたい。

1 透析患者と RT の必要性

腎機能の低下は個体の老化を加速させる可能性が高く, CKD 患者では加齢により筋萎縮の進行するサルコペニア, 加齢により虚弱状態となるフレイルの割合が高い¹⁾。ここにはインスリン抵抗性, 全身性の慢性炎症の増大などが関係しているとされる²⁾。さらに, 透析患者においては, 透析治療による長時間の安静仰臥位による廃用性筋萎縮のリスクが高く, また透析治療によるアミノ酸の喪失といった問題もあり, よりサルコペニア, フレイルの進行が深刻である。

サルコペニア, フレイルは QOL を低下させるのみならず, CKD 患者においては, 透析開始, 死亡率を増大させる独立した危険因子となる³⁾。筋萎縮を抑制し, 筋肥大を促す RT はこの問題を解決する有効な運

動療法となるだろう。ただし、RT 含め運動の実施は腎臓血流の低下を招き、腎機能障害を増悪するリスクがある。運動処方では慎重に実施する必要がある。なお、CKD 患者の運動療法の実施は慎重を期す必要はあるが、腎機能の改善効果、透析患者においては透析効率の改善効果が期待される⁴⁾。運動療法を取り入れた腎臓リハビリテーションを積極的に行うべきとする考えが、近年は広まっているようである。

2 透析患者の RT の適正負荷強度の目安

透析患者における運動療法の指針として、運動強度は慢性心不全に対する運動療法に準じるとする考えがあり、強度設定の1つの目安となる。透析患者では心疾患などの他の障害を併発している場合が多い。慢性心不全患者においては、有酸素運動では Borg スケールによる主観的運動強度 (rating of perceived exertion: 以降 RPE) が「13 (ややきつい) 程度」までが一般に推奨される。RT は筋疲労による反復限界まで動作を繰り返すことが、最大の筋肥大効果を得るうえで重要とされる⁵⁾。反復限界までと聞くと実施において敬遠されがちであるが、RT は局所的な運動であるため、全身的な疲労度は高負荷低回数で行わない限りはそれほど高くはならない。筆者らは、反復限界まで行う RT の RPE および、心肺機能負荷として心拍数、換気量を自重を用いた RT において評価した (未発表) ので、それをもとに考察したい (図 1)。

RT の動作法は様々あるが、ここでは標準的な方法として1秒上げ、2秒下ろしの速度で、動作範囲はフルレンジで行った。また、RPE13 程度の有酸素運動の比較として、時速 6 km の速歩、時速 8 km のスロージョギングで、同様に評価した。速歩は低体力者の RPE13 程度相当、スロージョギングは標準体力者の RPE13 程度相当の運動として設定した。

自重 RT では、いずれの RM 条件においても速歩よりも心拍数、換気量はずっと低値であった。10~30 回の範囲の標準的な RT の心肺負荷は大きくなく、安全に採用できる運動といえそうである。一方で RPE は自重 RT ではスロージョギングよりも高値であった。ただし、RT は局所的な疲労が主であり、全身性の疲労度の高くなる有酸素運動とは単純には比較評価しにくい。各指標において 20RM でもっとも値が低値であり、強度としての安全性、RPE を含めた実行のし

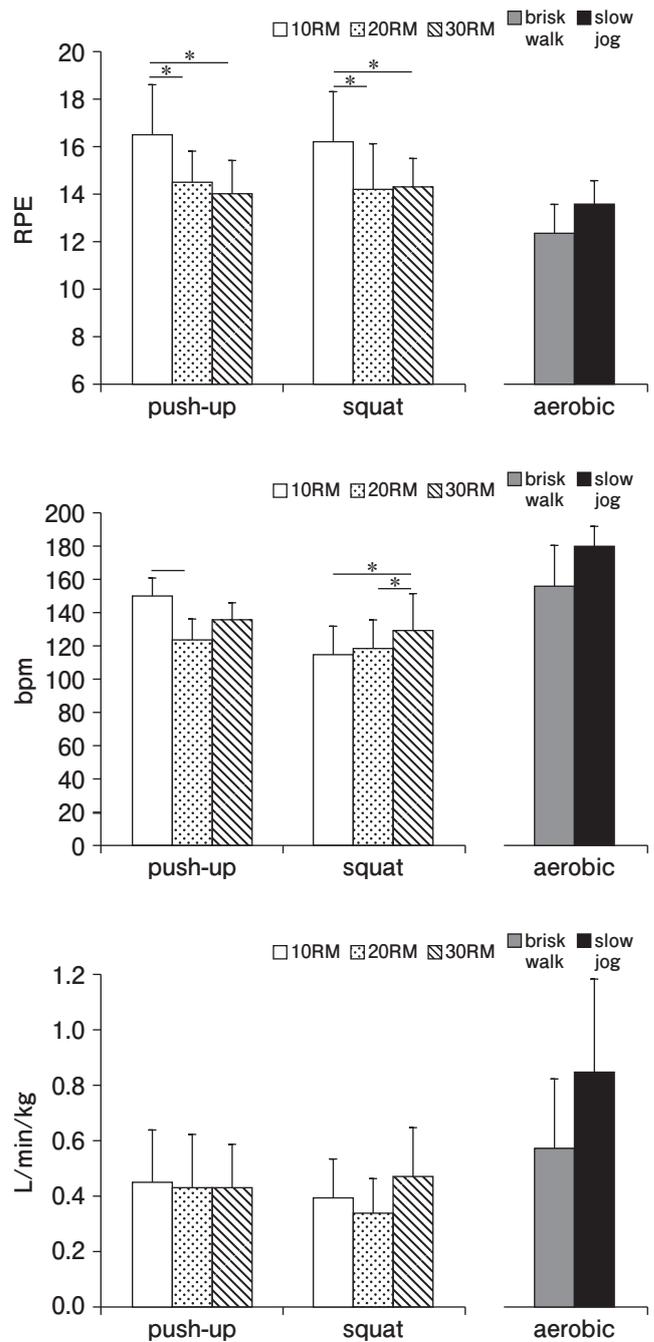


図 1 自重 RT 中の RPE (上), 最大心拍数 (中), 最大換気量平均値 ± 標準偏差を示す。*: 群間の有意差を示す (p < 0.05)。RM: repetition maximum, 例えば 10RM は 10 回が反復限界の負荷を用いて 10 回反復すること。(未発表データ)

やすさとしては適切な条件といえるかもしれない。

3 RT が筋肥大を誘発するしくみ

筋の発揮張力は主に筋の生理学的断面積の大きさに依存することから、RT は主に筋を肥大させることで筋力を向上させる狙いで行われる。筋肥大を誘発するメカニズムは完全に解明されていないが、主なものとして大きな筋張力、筋の微細な損傷などの「力学的

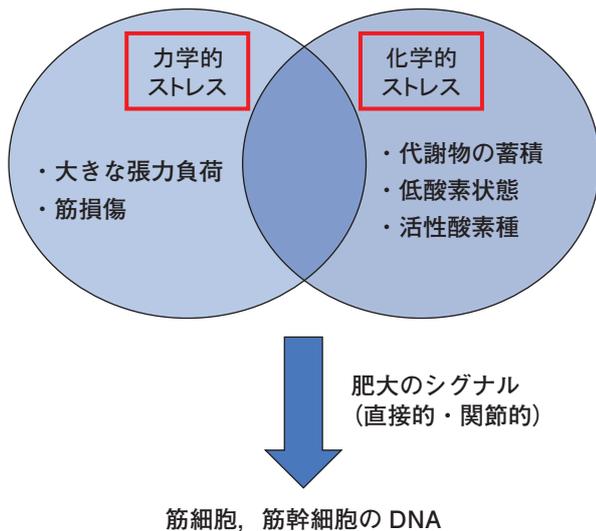


図2 RTと筋肥大誘発の概念図

RTは「主に力学的ストレスと化学的ストレスの2つを与えることで、筋肥大反応を誘発する作業」と考えるとRTのテクニックの理解が容易になる。

(著者作成：日本体力医学会大会 投稿中)

ストレス^{6,7)}と、筋内の乳酸などの代謝物の蓄積、酸素濃度の低下などの「化学的ストレス」^{8,9)}により、筋タンパク合成促進や筋幹細胞の増殖等が起こることが知られている(図2)。やや乱暴な解釈になるが、RTとは「力学的ストレスと化学的ストレスの二つを与えることで、ストレス応答による筋肥大反応を誘発する作業」と考えるとRTのテクニックの理解が容易になる。

RTの方法は多種多様であり、10RM(10回が反復限界の負荷で限界まで反復を繰り返す)を標準的な手法として¹⁰⁾いろいろなアレンジがある。標準法の10RMは力学的ストレスと化学的ストレスの二つを満遍なく与えられる手法と解釈できる。極めて高重量を用いて下ろす動作をメインに行うエキセントリックトレーニングや、全身の反動を利用して高重量を挙上するチーティング法などは、力学的ストレスを優先した方法、比較的軽負荷を用いて持続的な筋力発揮で行うスロートレーニングや専用バンドで血流を制限する加圧トレーニング、高回数で行うハイレップ法などは、化学的ストレスを優先した方法と解釈して良いだろう。

なお、かつては軽負荷(65% 1RM未滿)の自発的な反復速度でのRTは筋肥大が起こらない¹¹⁾と考えられていた。しかしながら、30% 1RMという軽負荷条件であっても限界まで動作を反復すれば、80% 1RM程度で行う標準的なRTと同等の筋肥大効果が得られ

ることが2013年に報告されて¹²⁾以降は、30%–80%程度の範囲であれば反復不能まで行うことで、負荷重量の大小にかかわらず同様に筋肥大効果が得られるとする考えが主流となっている。低負荷でも十分な筋肥大効果を得られるメカニズムとしては、力学的仕事量の増大による代謝物の蓄積や持続的な血管の圧迫による低酸素状態(化学的ストレス)¹³⁾、筋疲労による運動単位の動員の増大¹⁴⁾などが寄与していると考えられる。ここからも、前述の20RMを反復限界までしっかり行う方法は、透析患者向けの適切なRT法の一つとなるといえる。

4 RT実行をナッジする声かけ

RTの実践には、適切な方法の探求と同時に、CKD患者に継続的に楽しく実践してもらおう動機付けも重要となる。RTの実行を強制しても、本人に行うモチベーションがなければ、継続率は下がるだろう。何より前向きに取り組んでもらえなければ、成果も期待しにくい。望ましい方向へと人々の行動を、強制ではなく誘導する手法を、行動経済学用語でナッジという。ナッジとは「肘でつつく、そっと後押しする」を意味する英単語である。例えば、運動誘導のナッジとしては、駅の階段の「ここまで上れば5kcal」の表示がその一例となる。「階段を上りましょう」ではなく、階段を上る行動を自発的に選ぶように誘導するわけである。

筆者は、NHK総合で2018年8月からテレビ放送されている「みんなで筋肉体操」という番組の指導監修を担当している(図3)。この番組での「あと5秒しかできません」「キツくてもツラくない」「頑張るか、超頑張るか」などの声かけにナッジの要素がある、と



図3 NHK「みんなで筋肉体操」(2019.8放送画面より) 番組中のセリフがナッジであると環境省ナッジユニットより評価された。

環境省ナッジユニットから評価され、日本版ナッジ・ユニットの有識者委員およびアンバサダーを務めている。

なお、筆者が筋肉体操でのナッジにおいて最も重要視することは、「サイエンスに基づいた効果の高い方法を紹介すること」にある。効果の高い方法を提案しているからこそ、それを実行してもらうためのナッジが必要になる。効果の高い方法でなければそれをナッジすべきではないし、してはならない。「筋肉は裏切らない」という番組の決め台詞は、裏切らない方法を提案して初めて言える言葉と認識している。

5 自重 RT におけるいくつかのポイント

RTにはバーベルやダンベル、マシンなどを用いた方法や、自体重を利用した腕立て伏せやスクワットのような自重トレーニング（以降 自重 RT）もある。RTは継続して行うべきものであるが、自宅で道具なく行える自重 RTは、実践しやすさの点で優れている。特に透析患者は透析治療に多くの時間をとられるため、RT実行のために時間を割くことがより困難となる。自宅で道具を準備せずに行える自重 RTは、移動や準備の時間がいらず、時短の意味で非常に優れている。また、種目によっては透析治療中に行うことも可能である。

ここでは、自重 RTで構成される「みんなで筋肉体操」におけるいくつかの工夫、ポイントをナッジするセリフと合わせて解説する。「みんなで筋肉体操」の自重 RTは、様々な工夫を凝らして力学的ストレスと化学的ストレスを存分に与えられるようにしている。

5-1 深くおろしきるフルレンジ

多くの種目において、深く下すほど筋にかかる張力は大きくなる。各関節の力ベクトルに対するモーメントアームが長くなるからである。また、深く下して筋が伸長した状態で動作することで筋の微細損傷が強く起きる¹⁵⁾。これは筋肥大誘発の重要な一要素となる。腕立て伏せは胸が床につくまで下ろさなければ「腕立て伏せかけ」、下までしゃがみ込まないスクワットは回数を行いたいだけの「浅はかなスクワット」である。

回数をたくさん行いたくて、小さな動作範囲で RTを行う人は多い。より少ない回数で効率的に筋に肥大の刺激を与えてあげる意識を持つべきである。量も筋

肥大を誘発する一要素であるが¹⁶⁾、その前にまずは高い質を求めるべきである。

5-2 ノンロックスロー法

ノンロックスロー法とは、上げきったり下しきったりして筋張力が消失する局面を作らずに、減速による抜重を避けるためゆっくり目の動きで行い、持続的に筋力発揮をする RT法である。持続的な筋内圧の上昇による血流制限で低酸素状態を作り出し、筋内の化学的環境、代謝的環境を過酷にする。無酸素性の代謝産物の乳酸が筋中に蓄積し、浸透圧により血漿を取り込んで筋が激しく水膨れ（パンプアップ）を起こす。同時に興奮性を高めるノルアドレナリンの分泌量も高まる¹⁷⁾。

パンプアップは、感覚として筋がパンパンに張る感じを体感できる。ノルアドレナリンの作用で興奮性が増す。例えば、スロースクワットでは「腿がパンパンになってきましたね」と声がけするとその感覚をより実感できるだろう。

5-3 時間を区切って時間内に追い込む

RTの標準的な負荷と回数は 10RM であるが、30～40RM 程度の低負荷高回数でも反復不能まで追い込み切れれば高い筋肥大効果が得られることが認められている¹⁸⁾。筋肉体操では、時間を区切ってその時間内に速い動作で目いっぱい行う高回数法を採用した。時間の区切り方はいろいろできるが、例えば「30秒間めいっぱい速く反復し、10秒の休息後再び20秒間めいっぱい速く」腕立て伏せや腹筋運動を繰り返す方法を行う。速度が上がれば切り返しの加速で、強い物理的な刺激が加わる。高回数により筋内の化学的環境も過酷になる¹⁹⁾。残り時間のカウントは「あと5秒！」ではなく「あと5秒しかできません！」の声掛けで、時間内に全力を出し切れるようにナッジできる。

ただし、この方法は、時間当たりの力学的仕事量が大きくなるため、心肺負荷も大きくなると考えられる。また強い筋損傷を伴う方法は CKD 患者、人工透析患者には適さないかもしれない。導入に際しては実行時および遅発性筋痛で炎症反応の生じる 2～3 日後までの様子を見ながら徐々に強度を上げていくべきと思われる。

5-4 オノマトペを利用して動きの質を高める

腹筋運動のクランチや背筋運動のバックエクステンションは上げる高さに決まりがない。そのため、毎回できる限り高く上げることで運動刺激を高めるべきである。その際に筋を短縮させきるイメージで「キュー」と発声することでより高く上げきることを誘導する。ピーシーというと背すじが伸びるオノマトペと同じ発想である。キューとは少し違うが、立ち上がるときに「よいしょ」と声を出すと立ち上がり動作の力発揮が強くなるということが認められている²⁰⁾。

腹筋運動のレッグレイズやクランチは、仰臥位で行う種目である。透析の時間を利用して実行することも

できるだろう。レッグレイズは腹直筋と合わせて股関節屈曲筋の腸腰筋も鍛えることができる (図4)。

5-5 自分次第で存分に加負荷出来る徒手抵抗

自重RTは押す方向には容易に体重負荷をかけられるが、引く方向に負荷をかけるのは困難である。そこで、引く動作の自重RTには左右の手で引き合いながら動作するといった徒手抵抗トレーニングを取り入れると良い。徒手抵抗トレーニングは本人の努力量次第で発揮する筋力が決まる。1回目から毎回全力を出すことが可能であるが、逆に甘えてしまえば最後まで強い運動にならない。徒手抵抗トレーニング中の発揮筋

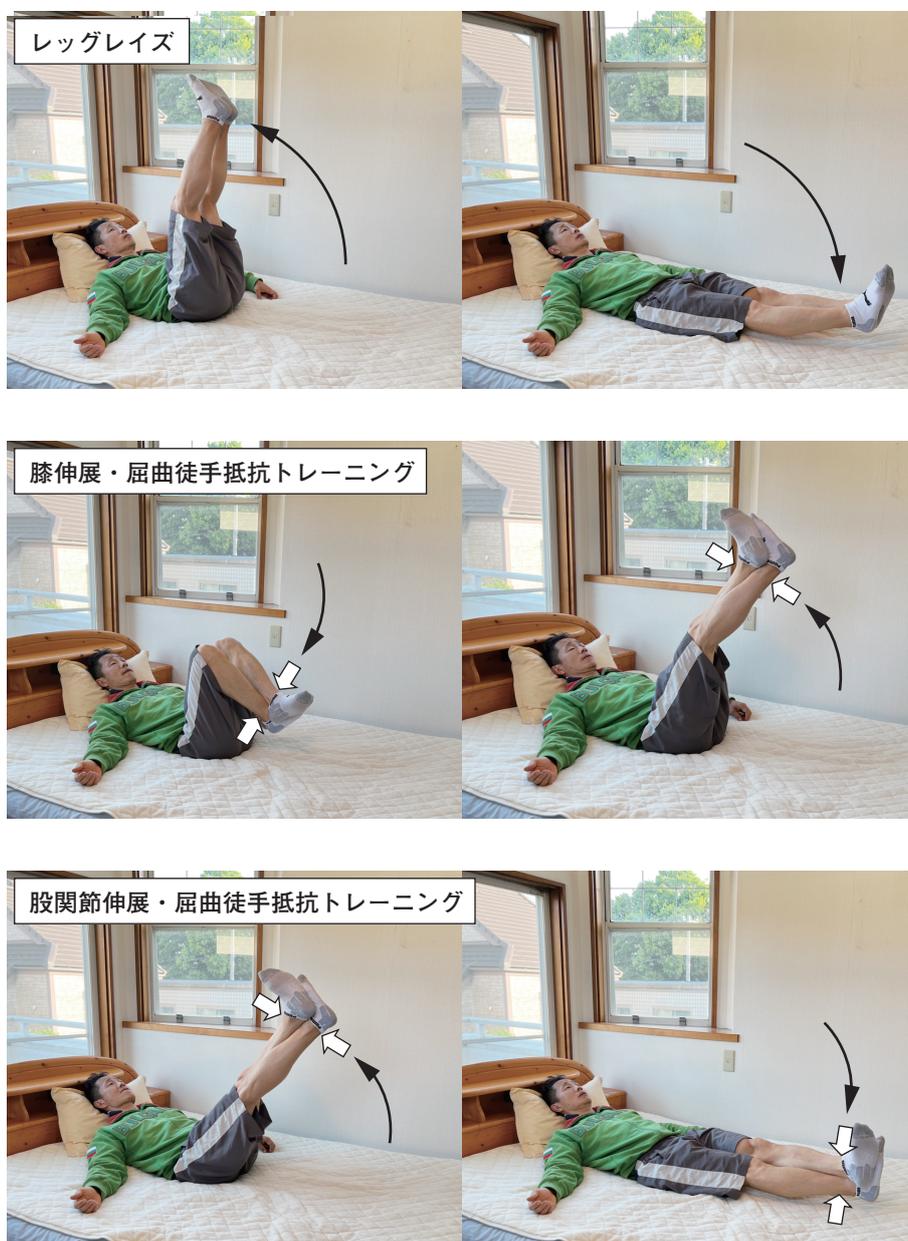


図4 自重RTの透析中の活用例

力を測定した研究では、RT 未経験者では経験者と比べて十分に筋力を発揮しきれていない様子がみられている²¹⁾。「自分に甘えない」「全力で!」と声かけをして強い筋力発揮できるようにナッジすると良い。

徒手抵抗を用いた手法は、座位や仰臥位でも行いやすい。透析の時間を利用して下肢の運動なら実施可能であろう。足首をかけて膝の屈曲・伸展を、負荷をかけ合いながら行う方法や、膝を伸ばして股関節の屈曲・伸展で負荷をかけ合う方法が実行できるだろう(図4)。後者は股関節の伸展と屈曲の筋力差および下肢の重力負荷から伸展動作の余力が大きくなるが、屈曲筋には有効な RT となる。股関節屈曲筋の腸腰筋は加齢により筋萎縮しやすく、歩行速度に強く影響する²²⁾。サルコペニア、フレイル予防として優先的に RT を行うべき筋である。

6 具体的推奨自重 RT メニュー「筋肉元気体操」

「みんなで筋肉体操」のアレンジとして2020年4月にNHK総合あさイチにて「筋肉元気体操」を企画した。中高齢者でも実施しやすいように負荷強度を下げた自重 RT メニューである。負荷強度はフォームによって調整ができる。CKD 患者にも適用しやすい運動といえるだろう。

ここでは「筋肉元気体操」の全4種目の各種目の生理学的な実施の意義、および動作の解説をする。なお、体操の動画は <https://www.youtube.com/watch?v=Pzd96jiJZv0> にあるので参照されたい。「筋肉元気体操」で動画検索しても見つかる。

最初の3種目はいずれも、2秒下げ2秒下しでややゆっくりと丁寧に動作する方法を7回、続いて、瞬発的な動きでパワー発揮を強調したバリストック法を5回行う。バリストックとは反動は使わずに、瞬発的にできるだけ速く上げる方法である²³⁾。

6-1 スクワット

スクワットは、体重を支える下肢の多くの筋群を鍛えることができる。大腿四頭筋をはじめ、体重を支える抗重力筋は加齢による萎縮が進みやすい。膝伸展筋の大腿四頭筋では、80歳で20歳台の半分程度にまで平均値は減少する²⁴⁾。

スクワットには様々なフォームがあるが、ここでは肩幅の1.5倍強に足幅をとって、つま先を外に向け、

背筋を伸ばして上体を直立させて、上下動する方法とした。容易に膝伸展筋の大腿四頭筋と、股関節伸展筋の大殿筋の双方に、負荷を与えることができるフォームである。しゃがむ深さはできるところまで深くする。立ち上がる時は膝を押し、しゃがむ時は自力でしゃがむ。膝を押し強さの程度としゃがみ込む深さで負荷を調整する。筋力が強い場合は膝を押しせずに、下肢の力だけで立ち上がる。

しゃがむ深さは前述のとおり筋に与える刺激を大きくする意味で重要である。筋力レベルや関節の状態に合わせて、できる範囲でしっかり深くしゃがみたい。もちろん、無理のない範囲で行うべきだが、「もっと深くしゃがんでもいいですよ」と声かけしてあげると、前向きにしっかりしゃがむ意識を持ちやすいだろう。

6-2 腕立て伏せ

上半身の筋も物を持ったり、手をついて体を支えたりと、生活機能においては下半身ほどではないが重要な役割を果たす。肘を伸ばす上腕三頭筋は上半身の筋の中では加齢で萎縮しやすい部位であり、鍛える重要度が高い²⁵⁾。

テーブルに手をつき、斜めに構えて腕立て伏せを行う。片脚を少し前に出すことで負荷を弱めることができる。強ければ、片脚は出さずに両脚をそろえて行っても良い。手幅は肩幅強程度にとり、胸がテーブルに触れるまで深く下して上げる。RTはきつくなってきながら本番である。反復不能までしっかり繰り返せるように、きつくなってきたところで「楽しくなってきましたね!」など前向きな声かけをすると良いだろう。

6-3 レッグレイズ

座って脚を上げる腹筋運動のレッグレイズでは、腹筋群と合わせて脚を前に振り出す腸腰筋、大腿直筋が鍛えられる。腸腰筋は加齢で萎縮が大きく進む筋で、この筋の萎縮と歩行速度の低下には、強い相関が認められている²²⁾。

椅子に浅く座り、椅子の後ろをもって体を支える。軽く膝を曲げて膝の上げ下げを行う。膝を曲げるほど負荷が小さく、伸ばすほど大きい。筋力が低い人は膝を深く曲げて、強ければ膝を伸ばして行う。上げるときはできるだけ高く上げ、下ろすときは足を床につけない。前述のとおり、この種目は上げる高さに関わり

がなく、であるからめいっぱい高く上げることで、より強い負荷を筋に与えることができる。「もっと高く上げられる！ そんなもんじゃない！」といった声かけを、筋肉体操では行っている。

6-4 反動で強く速く立ち上がる

最後は筋肥大・筋力増強を主目的としたRTとは少し異なる、筋力を含め立ち上がり動作を上手にする動作改善トレーニングである。日常動作で最も強い負荷のかかる立ち上がり動作²⁶⁾を、反動を使って上手にパワー発揮をして強く速くする目的で行う。高齢者を用いた研究では、立ち上がる時に「よいしょ」と声を出すと、床反力のピーク値があがり、立ち上がる速度も速くなることが観察されている²⁰⁾。

椅子に深く座り、大きくふん反りかえったところから「よいしょ」と発声しながら反動を使って素早く立つ。上手にできると反動の利用で効率よく気持ちよく立つことができる。これを5回繰り返す。反動で上手なパワー発揮で立ち上がれると、スピードが上がり気持ちが良い。「気持ちよく立ちましょう」といった声かけをすると良いだろう。

利益相反自己申告：申告すべきものなし

文 献

- Zelle DM, Klaassen G, van Adrichem E, et al. : Physical inactivity : a risk factor and target for intervention in renal care. *Nat Rev Nephrol* 2017; 13 : 152-168.
- Fahal IH : Uraemic sarcopenia: aetiology and implications. *Nephrol Dial Transplant* 2014; 29 : 1655-1665.
- Roshanravan B, Khatri M, Robinson-Cohen C, et al. : A prospective study of frailty in nephrology-referred patients with CKD. *Am J Kidney Dis* 2012; 60 : 912-921.
- Greenwood SA, Castle E, Lindup H, et al. : Mortality and morbidity following exercise-based renal rehabilitation in patients with chronic kidney disease : the effect of programme completion and change in exercise capacity. *Nephrol Dial Transplant* 2019; 34 : 618-625.
- Burd NA, West DW, Moore DR, et al. : Enhanced amino acid sensitivity of myofibrillar protein synthesis persists for up to 24 h after resistance exercise in young men. *J Nutr* 2011; 141 : 568-573.
- Schoenfeld BJ, Ogborn DI, Vigotsky AD, et al. : Hypertrophic Effects of Concentric vs. Eccentric Muscle Actions : A Systematic Review and Meta-analysis. *J Strength Cond Res* 2017; 31 : 2599-2608.
- McDonagh MJ, and Davies CT : Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1984; 52 : 139-155.
- Schoenfeld BJ, BC : The Muscle Pump : Potential Mechanisms and Applications for Enhancing Hypertrophic Adaptations. *Strength and Conditioning Journal* 2014; 36 : 21-25.
- Takarada Y, Sato Y, and Ishii N : Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol* 2002; 86 : 308-314.
- Fleck SJ, and Kraemer WJ : Designing resistance training programs 2nd ed., Human Kinetics Pub 1987.
- Holloszy JO, and Booth FW : Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. *Annu Rev Physiol* 1976; 38 : 273-291.
- Mitchell CJ, Churchward-Venne TA, West DW, et al. : Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *J Appl Physiol* 2012; 113 : 71-77.
- Scott BR, Slattery KM, and Dascombe BJ : Intermittent hypoxic resistance training : is metabolic stress the key moderator? *Med Hypotheses* 2015; 84 : 145-149.
- Spiering BA, Kraemer WJ, Anderson JM, et al. : Resistance exercise biology : manipulation of resistance exercise programme variables determines the responses of cellular and molecular signalling pathways. *Sports Med* 2008; 38 : 527-540.
- Nosaka K, and Sakamoto K : Effect of elbow joint angle on the magnitude of muscle damage to the elbow flexors. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33 : 22-29.
- Wernbom M, Augustsson J, and Thomee R : The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Med* 2007; 37 : 225-264.
- Tanimoto M, and Ishii N : Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *J Appl Physiol* 2006; (1985) 100 : 1150-1157.
- Mitchell CJ, Churchward-Venne TA, West DW, et al. : Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *J Appl Physiol* 2012; (1985) 113 : 71-77.
- 谷本道哉 : 時間を区切った低負荷高回数筋力トレーニングの一過性生理応答. 日本体力医学会大会, 2019.
- Tanimoto MW, Y. Arakawa H : Effects of Vocalization When Standing-up from a Sitting Position in a Chair among Healthy Elderly People. *International Journal of Sport and Health Science* 2018; 16 : 10-18.
- 谷本道哉, 下野俊哉, 荒川裕志 : 筋力トレーニング経験者と未経験者における徒手抵抗トレーニング時の発揮筋力と筋活動電位の比較. *体育学研究* 2017; 1 : 145-154.

- 22) 金 俊東, 久野譜也, 相馬りか, 他 : 加齢による下肢筋量の低下が歩行能力に及ぼす影響. 体力科学 2000; 49 : 589-596.
- 23) Cordner T, Egerton T, Schubert K, et al. : Ballistic Resistance Training : Feasibility, Safety, and Effectiveness for Improving Mobility in Adults With Neurologic Conditions : A Systematic Review. Arch Phys Med Rehabil 2021; 102 : 735-751.
- 24) Lexell J, Taylor CC, and Sjostrom M : What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. J Neurol Sci 1988; 84 : 275-294.
- 25) 安倍 孝, 福永哲夫 : 日本人の体脂肪と筋肉分布. 杏林書院, 1995 : 148.
- 26) Ploutz-Snyder, L. L., Manini, T., Ploutz-Snyder, R. J., and Wolf, D. A. Functionally relevant thresholds of quadriceps femoris strength. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2002; 57 : B144-152.