

# 透析患者における運動とその効果

松嶋哲哉

賀茂クリニック

key words : 血液透析, 運動療法, 乳酸アシドーシス, 嫌気性代謝閾値

## 要 旨

多くの透析患者の体力レベルは低く、それに伴ってADLも低下している。そこでわれわれは、医療法人会全体で透析中の運動療法を3年間継続した27名の患者において、全身持久力、膝伸展筋力などの運動耐容能について検討した。その結果、有酸素運動能力、膝伸展筋力において有意に改善が認められ、運動療法の有効性が明らかにされた。本稿では、運動療法導入までのプロセスと、運動プログラムについて紹介し、安全で効果的な透析運動療法について具体的に述べる。

## 1 はじめに

至適な透析療法や食事療法の追求、薬剤の開発により、多くの透析患者の生命予後が改善されてきた一方で、それはまた長期透析に伴うさまざまな合併症の出現や要介護患者の増加など、従来にはなかった問題ももたらした。長期透析のみならず導入年齢の著しい高齢化によって、自分の足で立ち上がり歩行することも困難な動けない患者も増加している。実際のところ、代謝障害や筋蛋白異化の亢進と筋肉量の減少、心肺機能の低下などの病態は、これら多くの患者に共通してみられ、進行する日常生活動作（ADL）低下の原因となっている。

一般に、全身持久力や筋力の向上、筋肉量の増大に関しては、運動が最も重要な役割を果たすと言われているが、その病態の特殊性もあって、透析患者に対す

る運動療法はいまだ一部の医療機関で試行されているにすぎず、具体的な指針も策定されていない。透析患者に「どの程度なら運動しても大丈夫なのか？」と問われることもある現在において、残念ながら十分なエビデンスに基づいた答えを用意できていないのが現状である。

本稿では、基本的な運動メカニズムの理解と、透析患者の運動特性、体力特性を考慮した適切な運動療法へのアプローチを考えたい。

## 2 運動の成り立ち

ここでは、“運動”をシンプルに理解するために、“運動＝骨格筋の収縮”と定義する。筋肉が収縮するために必要なエネルギーは、十分な酸素供給下でのTCAサイクルを経由した酸化的リン酸化によるATP産生と、相対的に酸素が不足した状態での、酸素を必要としない発酵によるATP産生の2経路から供給されている（図1-a, 1-b）。一般的に、前者のエネルギー供給経路が優位である運動を有酸素性（aerobic）運動と呼び、後者が主体である運動を無酸素性（anaerobic）運動と呼ぶ。運動負荷に応じて要求される筋力すなわち運動強度が低く、酸素供給が足りている間は有酸素性運動が主体となり、運動強度が上がり相対的に酸素供給が追いつかなくなると無酸素性運動が補われることとなるが、その切り替わる運動負荷レベルでの酸素摂取量を嫌気性代謝閾値（anaerobic threshold; AT）という（図2）。

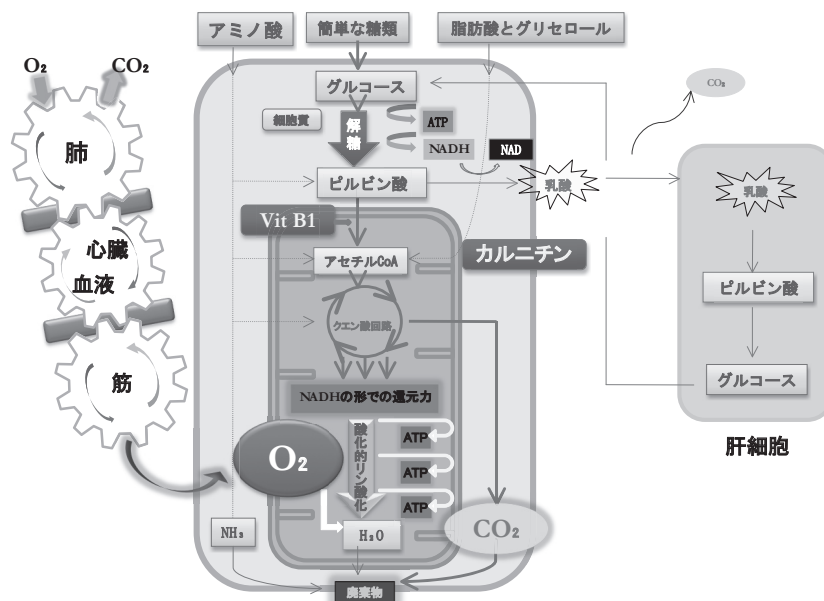


図 1-a 筋細胞における酸素を利用した ATP 生成

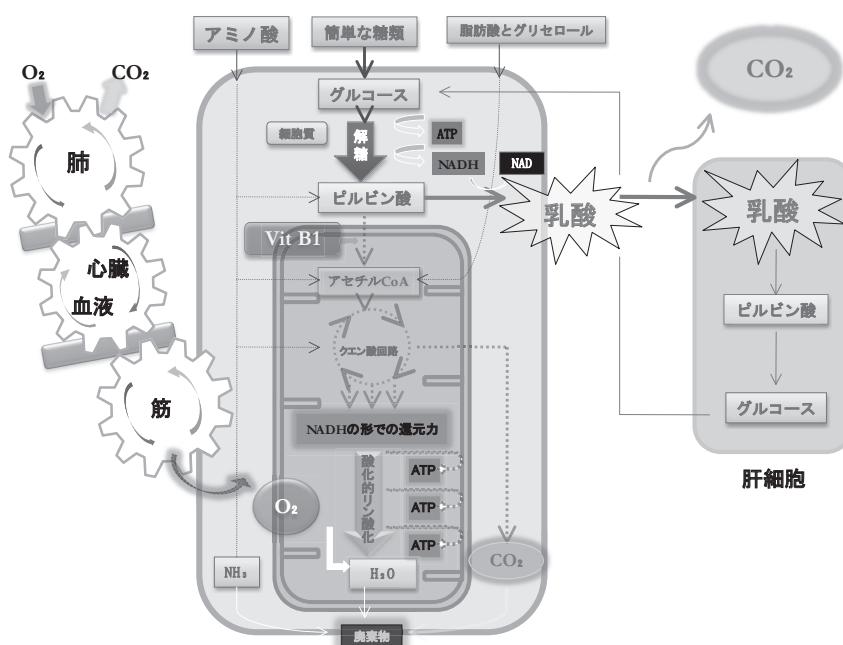


図 1-b 筋細胞における無酸素性 ATP 生成

すべての運動はこの2種類の運動で構成されており、特に有酸素性運動では呼吸器系、換気中枢、心血管系、血液細胞、骨格筋細胞など、酸素をミトコンドリアに取り込むまでに関わるすべての器官において運動効果が発現し、とりわけ心肺機能改善に有用と考えられている。ATP 産生の際である筋細胞内ミトコンドリアへの酸素供給は、種々の要因、つまりヘモグロビン濃度や心拍出量などに左右される。腎性貧血は酸素運搬能低下の直接の原因であり、AT はそれだけでも低下

する。心機能において1回拍出量が一定ならば、心拍出量は心拍数に依存するため、β遮断薬などもATに影響する。一般に運動強度が低く有酸素性運動が行われている間は、乳酸の生成も緩やかで、アシドーシスの緩衝もそれに伴う勾配であるが、運動強度が上がりATを超えると無酸素性運動の比率が増え、乳酸生成の増加と共に血液は酸性に大きく傾き、種々の緩衝機構が動員される。緩衝系の代表的なものとして最も大きな緩衝効果を持っているのが重炭酸イオンであり、

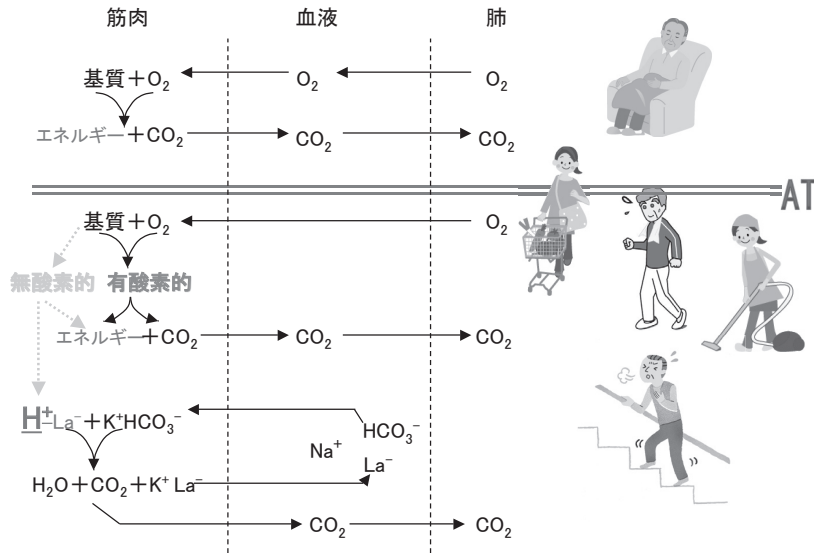


図2 嫌気性代謝閾値 (AT)

水素イオンを受け取って水と二酸化炭素を排出する。

3 透析患者の体力と運動における問題点

透析患者の体力に関して、全身持久力、筋力、柔軟性などは健常成人の半分にも満たず、日常の活動量に関しては透析日に著しく低下すると多く報告されている。全身の持久力とも言える心肺機能に関する報告は少ないが、われわれの調査では、安静時とAT到達時の心拍較差が同年齢の健常人の60%程度であり、加齢とともにその幅が狭くなることが判明した(図3-a)。下肢筋力に関しても、やはりAT到達時の負荷強度が健常人の60%程度であり、心肺機能同様に加齢と共に低下することが判明した(図3-b)。

心拍数を運動処方を目安にする心拍処方としてよく用いられるKarvonenの式においては、運動の目標心拍数を[(最大心拍数 - 安静時心拍数) × k + 安静時心拍数]と計算する。この場合k値は係数であり、健常人の場合0.4~0.6に設定されることが多いが、心疾患急性期には0.2が適切とされる。最大心拍数は実測値を用いるが、このためには最大負荷試験が必要となり、多くの場合予測最大心拍数(220 - 年齢)で算出する。透析患者の場合、予測最大心拍数は実測値よりもはるかに高い数値を示すことが多く、先ほどの実測されたAT到達時の心拍数 = 目標心拍数として、年齢に応じた予測最大心拍数から逆算すると、k値は0.2~0.4と算出され、ほとんどの透析患者が心疾患急性期あるいは心不全患者の運動強度設定と等しくなってしまう。このことは、透析患者の運動処方において、最初から

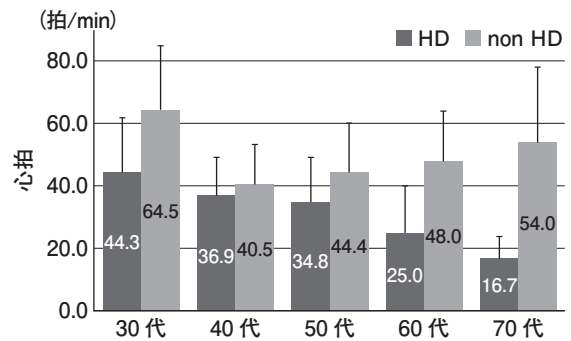


図3-a 透析患者と非透析者の安静時~AT到達時心拍較差

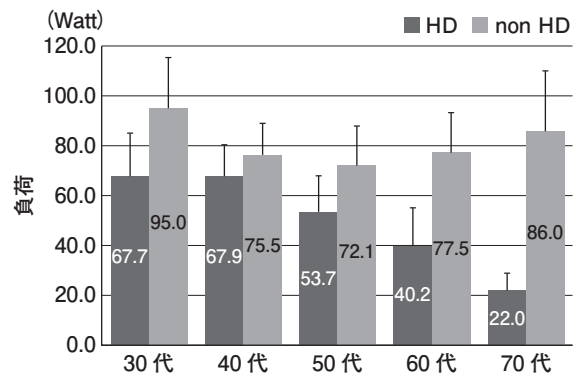


図3-b 透析患者と非透析者のAT到達時負荷

体力レベルが心不全患者に近いと考えて取り組むのが安全であることを示唆する。

次に、透析患者の運動における問題点であるが、一般に運動強度がATを超える負荷になると、無酸素性運動の増加に伴って乳酸生成が急増し、一気に血液pHが酸性に傾く(図4)。透析患者はATに到達する運動負荷レベルが前述のごとく著しく低いため、健常

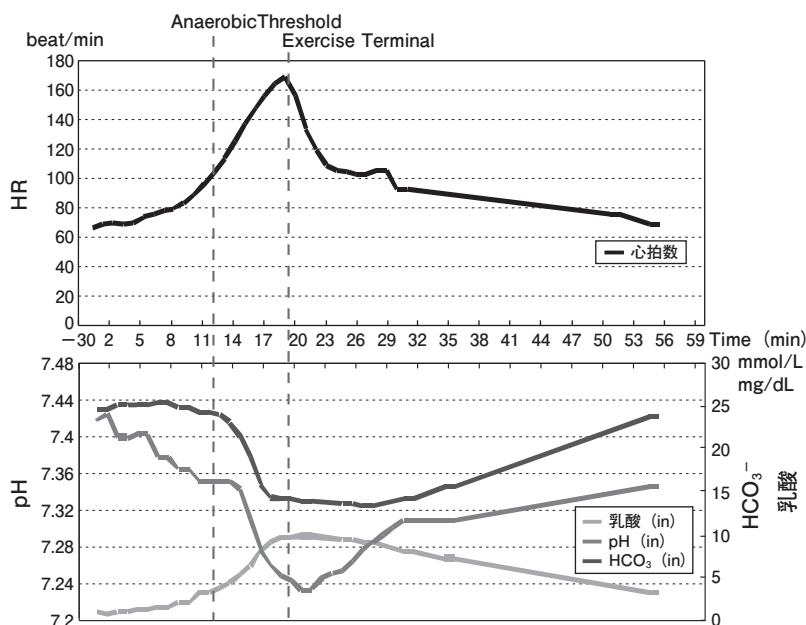


図4 運動強度と血中乳酸・HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度・pH  
(透析液 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 25 mEq/l)

人ではごく軽度の有酸素レベルの運動強度でさえすでにATを超えていることも多く、このこともアシドーシス助長の原因となっている。また、健常人であればアシドーシスは重炭酸イオンと呼吸によって緩衝されるが、透析患者においては尿細管からの重炭酸イオンの供給に限界があるため、アシドーシスが遷延する結果となる。

透析患者の運動療法で目指すべきは、少なくとも日常生活レベルの運動強度・運動負荷ではATを超えないようにすることであり、心肺機能改善目的の有酸素性運動と自己体重負荷に対しての下肢筋力トレーニングを併用することがポイントとなる。重症心不全患者や長く運動習慣を持たない透析患者においては、自律神経活性の安定化も重要なポイントである。

#### 4 運動療法の実際

##### 4-1 運動療法導入までのプロセス

われわれは、運動に参加可能か検討するさい、**図5**のような順序でリスク管理を行っている。

まずは、その患者の有する合併症や問題点の洗い出しを目的としたメディカルチェック①である。絶対に運動を避けたほうがよい疾患（**表1**）と、検査や治療を受けコントロールされれば運動参加が可能な疾患（**表2**）とがあり、それぞれ絶対的運動禁忌群、相対的運動禁忌群と呼ばれている。この段階での洗い出し

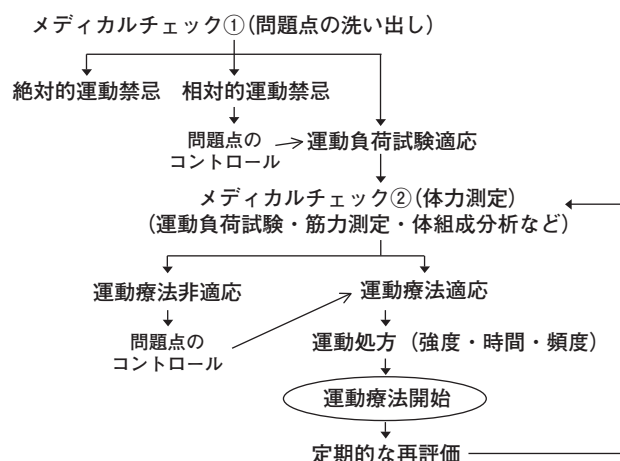


図5 運動療法の導入・処方・維持のプロセス

表1 絶対的運動禁忌

- 明らかなうっ血性心不全 (NYHA クラス IV)
- 急性心筋梗塞の発症日
- 不安定狭心症
- 解離性大動脈瘤
- 心室頻拍またはコントロールされていない重篤な不整脈
- 高度の大動脈弁狭窄症
- 最近の塞栓症
- 活動期または最近の静脈血栓症
- 急性感染性疾患
- 拡張期高血圧 (115 mmHg)

で運動禁忌に該当しない群は、次の段階の運動負荷試験を含むメディカルチェック②(体力測定)に進む。一連の体力測定(次項)を進める段階でも循環器や運動器に問題が見つかれば、検査や治療で問題が解決さ

表 2 相対的運動禁忌

- コントロールされていない、または著しい上室性不整脈
- 連続性または頻発する心室性期外収縮
- 治療されていない高血圧や肺高血圧
- 心室瘤
- 中等度の大動脈弁狭窄症
- コントロールされていない糖尿病、甲状腺機能亢進症、粘液水腫、腎不全、肝不全、他の代謝性疾患
- 著しい心拡大
- 完全房室ブロック、完全左脚ブロック、WPW 症候群
- 固定レート型ペースメーカー
- 一応コントロールされた重篤な不整脈
- コントロールされていない重症高血圧
- 重症貧血
- 明らかな精神神経障害
- 運動制限を有する神経筋疾患、筋骨格疾患、関節疾患

れるように努め運動可能群に導き、初めて運動処方に基づく運動療法へと進むのである。繰り返すが、身体にとって運動は負荷でもあるので、負荷がかかった時に弱いポイントを洗い出す作業を丹念に繰り返した後運動を開始するのが原則である。

4-2 体力測定による運動処方

運動処方では、安全な活動レベルを設定しつつ有効性も確保しなければならない。そのためには強度や頻度などを決定するための拠り所となる体力測定が必須となる。

(1) 有酸素性運動の処方

この方法は AT 処方とそれ以外の方法に大別される。呼気ガス分析装置を用いた心肺運動負荷試験 (cardio-

pulmonary exercise testing; CPX) (図 6) で AT を決定し、その 1 分前の負荷量を処方するのが望ましいが、施設に呼気ガス分析装置がないために CPX ができない場合や、時として CPX で AT が決定できない場合がある。透析患者でも散見されるが、心不全例で運動中の換気レベルを一定に保つことができず oscillation が生じる場合などである。

(2) AT 決定に拠らない処方

この仕方では、Karvonen の式を用いた心拍処方が代表的である。その他に、自覚的運動強度 (ratings of perceived exertion; RPE) (図 7) による処方や、トークテストなどがある。結果的にこれらの方法によって決定される運動強度は、AT との相関が良好である。

(3) 筋力トレーニング

下肢伸展筋力測定あるいは握力測定、筋持久力などの筋力評価に基いて処方される。透析患者が自立した歩行能力を維持する目安としては、下肢伸展筋力が体重の 4 割以上であることが望ましく、筋力トレーニングの目標は大腿四頭筋の筋力を増強することが第一となる。

4-3 運動の内容

バイタルサインをモニターしながらの監視型運動は、運動強度や時間の管理が可能であり、その点において血液透析中の運動は安全であると考えられる。また、運動によるアシドーシスに対しても有利である。透析

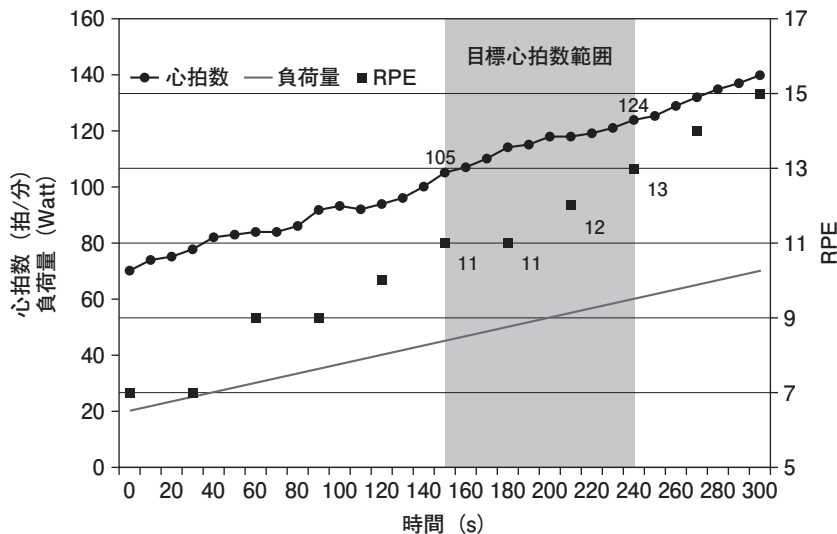


図 6 目標心拍数を決定する方法

20		症候限界時
19	非常にきつい (very, very hard)	
18		
17	かなりきつい (very hard)	
16		
15	きつい (hard)	
14		
13	ややきつい (somewhat hard)	AT レベル
12		
11	楽である (fairly light)	
10		
9	かなり楽である (very light)	
8		
7	非常に楽である (very, very light)	
6		安静時

図7 自覚的運動強度 (RPE)

・方法 血液透析中の集団運動療法

1. ストレッチ (5分)



2. エアロバイク (20分~)



3. チューブトレーニング



4. ストレッチ (5分)



図8 血液透析中の運動療法の有効性の検討

中は上肢の運動が制限されることから、腹部～下肢の運動が主体となる。

ストレッチの後にエルゴメーターを用いた有酸素性運動を行い、下肢や骨盤周囲筋群強化のためのチューブトレーニング、再びストレッチによるクールダウンで終了するメニュー (図8) で集団エクササイズを3年間継続した結果、心肺機能と下肢筋力は改善し、下肢筋肉量の維持が得られた (図9-a, 9-b, 9-c)。透析患者の体力が年齢とともに低下するという結果 (図3) から考えると、時間や種目も限定された透析中の運動でも体力維持に有用と考えられた。一方、家庭で

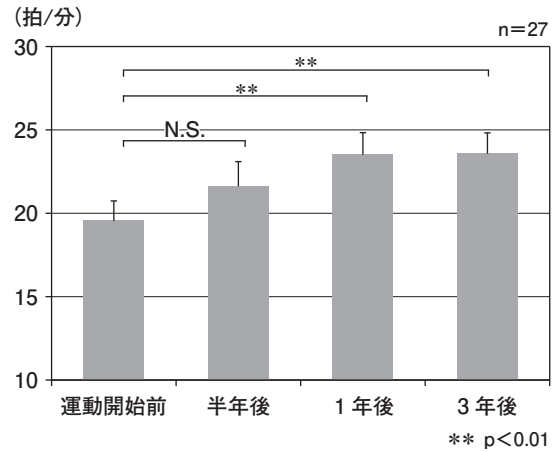


図9-a 透析中運動療法群の安静時～AT 時心拍較差

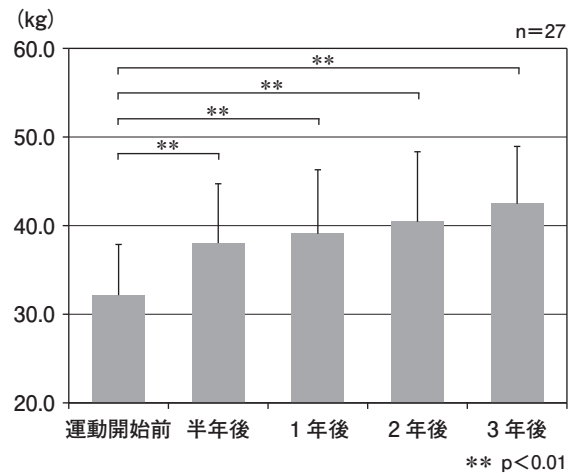


図9-b 透析中運動療法群の膝伸展筋力

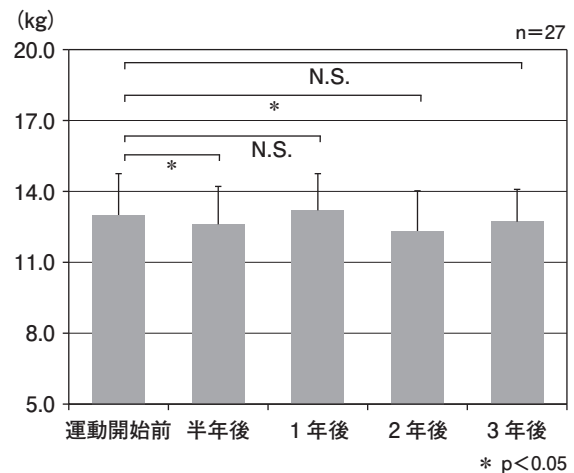


図9-c 透析中運動療法群の下肢筋肉量

の運動は、その環境、種類・種目、頻度、時間などの自由度が高い。しかしながら、非監視型運動であるため運動強度を逸脱する危険性が高く、透析患者の体力特性・運動特性から考えても十分注意して取り組むべきであろう。

非監視型運動の目安として、Borg スコアの 11~13 (図 7) くらいに相当する運動強度は、約 60% の例で AT に相当することが知られている<sup>1)</sup>。レジスタンス トレーニングを行うさいでも RPE 11~13 を設定の目安にすることができる。具体的には“ややきつかな”や“軽く息が切れる”と感じる強度設定のウォーキングが推奨されることが多いが、可能ならば監視型の運動で強度の確認とセルフモニタリングに慣れた後に、非監視型運動に移行することが安全である。

#### 4-4 運動の維持

一定期間運動を継続すると患者の運動耐容能が向上するため、運動負荷試験による再評価が必要となる。至適な運動強度によって効率的な体力の改善と疲労の低減が両立される点からも、常に最新の評価に基づく運動処方が必要となる<sup>2)</sup>。また、運動を継続していく期間においても血管病変の進行や運動器の故障が起こりうるため、運動負荷試験を再度行うことで安全を確認することができる。さらには、ADL の改善や易疲労感の減少などの患者自身の自覚に加えて、体力全般の改善結果を認識してもらうことは、運動継続の意欲を維持するうえで非常に有効である。ドライウエイトなどの透析条件をこまめに検討し処方するように、運動も綿密な処方と記録が必要である。

### 5 運動と栄養

運動エネルギーとしての ATP 生成過程に多くの蛋白質が関与しているのは周知の事実であり、さらには TCA サイクルにおいてピルビン酸からアセチル CoA への過程にビタミン B<sub>1</sub> の存在が、脂肪酸とグリセロールを基質としたエネルギー生成過程では基質がミトコンドリアに取り込まれるさいにカルニチンの存在が必須である (図 1-a)。蛋白質の構成要素であるアミノ酸やビタミン B<sub>1</sub>、カルニチンはいずれも透析によって除去される物質であり、食事内容が制限される透析患者では不足することもある。仮にカルニチンが不足すると、脂肪が基質の主体となる長時間の有酸素性

運動や心筋の収縮では ATP 生成に支障をきたす可能性があり、無酸素性運動優位によるアシドーシスの増悪や心不全を招来しうる。その点からも運動療法には栄養の裏付けが不可欠である。

### 6 結論

本稿では、高齢化に伴い心肺機能や運動機能が低下することを示したが、高齢透析患者の中には緻密な透析医療によって知的・肉体的活動を維持し、活発な社会生活を送る者が多く存在するのも事実である。必ずしも年齢によって生活や社会活動が規定されるものでもないが、やはり身体機能や認知機能の著しい低下で重度の介護を要する患者が増加しているのも現実であり、ともすれば透析医療が単なる延命処置に陥る可能性も否定できない。その状況を脱するには、可逆的な段階での運動機能の再構築を目的としたリハビリテーションや運動療法も重要である。

本稿で述べた運動療法の目的は、むしろリハビリテーションの意味合いではなく、不可逆的な廃用症候群への進行を予防するために現在の機能を維持し、さらには運動耐容能の改善すなわち AT レベルを向上させることによって、透析-透析間の筋活動で体内環境がアシドーシスに傾斜していくその傾きを緩やかにし、アシドーシスによってもたらされる血管病変や骨量の低下などの長期的な合併症を防止することにある。従来は透析歴とともに低下すると考えられた筋肉量や筋力、運動耐容能の低下も、効率的で安全な運動処方で改善されると考えるが、われわれ透析医療に関わるものとして、人として自立した活動を維持する患者を創造し維持する努力も必要かと考える。

#### 文 献

- 1) Borg GAV : Psychophysical basis of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 43; 377-381, 1982.
- 2) 松嶋哲哉, 大島 章, 山村晋史, 他 : 外来透析患者に対する運動療法の工夫とその効果. *臨床透析*, 27; 1319-1324, 2011.