

透析患者の運動療法

— 血液透析中の下肢運動 —

松嶋哲哉

西新クリニック

key words : 血液透析, 運動療法, 心肺運動負荷試験

要 旨

透析患者の quality of life (QOL) の改善には十分な透析を基本に, 栄養状態と身体能力の向上が不可欠である. 血液透析中の併用療法として下肢エクササイズを施行し, 安全性, 有効性及び継続性の観点からその可能性を検討した.

1 はじめに

透析医療の現場で日々増大する問題に, 要介護透析患者の爆発的な増加があげられる. その背景には, 高齢者や糖尿病原疾患患者の透析導入の増加および長期透析患者の増加があり, 近い将来の通院透析医療の限界を予想するに難くない. 一方, 慢性腎不全患者に対する透析医療自体は, 技術的に成熟した局面を迎えており, これらの要介護透析患者の増加に対する有効な手段として, 十分な透析量に立脚した, 運動機能改善や心肺機能改善を目的とした併用療法の導入が必要と考えられる. 従来より QOL を保った予後の改善には, 運動療法が有用であり, 結果的に運動耐容能の改善も期待されることから¹⁾, 包括的治療の一環として今後さらに積極的に取り組むべきと考えられる.

本稿では, ともすると安静臥床のイメージが強く, 受動的治療である血液透析中に下肢エクササイズを施行し, 併用療法としての可能性を探ってみた.

2 透析患者の運動療法

1) 透析患者の運動パターン

血液透析患者の身体活動量は低く, 特に透析日に著しく低下することが報告されている²⁾. 透析日においては, 治療時間による活動の制約や治療後の疲労感などがその理由と考えられるが, それ以外に医療者側の安静臥床という意識も少なからず影響するものと考えられる. 一般に, 血液透析患者に推奨されている典型的な運動パターンは, 非透析日にあまり無理をしないウォーキング程度の運動を取り入れることであろう³⁾. 隔日の透析というライフスタイルや頻度としても, 非透析日の運動が, 現実的であり取り組みやすいことがその理由と考えられ, 種目や自由度の点からも運動効果が得やすい⁴⁾. 反面, (透析) 治療から解放されるべき (非透析日という) 時間に取って運動という別の治療を導入することにもつながり, 結果的に生活の質の低下が懸念され, 生活のなかに運動を安定して取り入れる上での動機付け, 意欲や継続性に問題を残す.

また安全性を確保し, 運動を治療量として処方するという観点からは, 監視が重要なファクターとなる. つまり, 強度やフォーム, 生体情報などを監視しながら行う監視型運動が透析患者には適している. 非透析日の運動は, 基本的に非監視型運動であり, 患者の自主性に任せるがゆえに, 時として過大な負担をもたらすことも多く, まず監視型運動の下でセルフモニタリングに習熟した後に非監視型 (自立した) 運動に移行

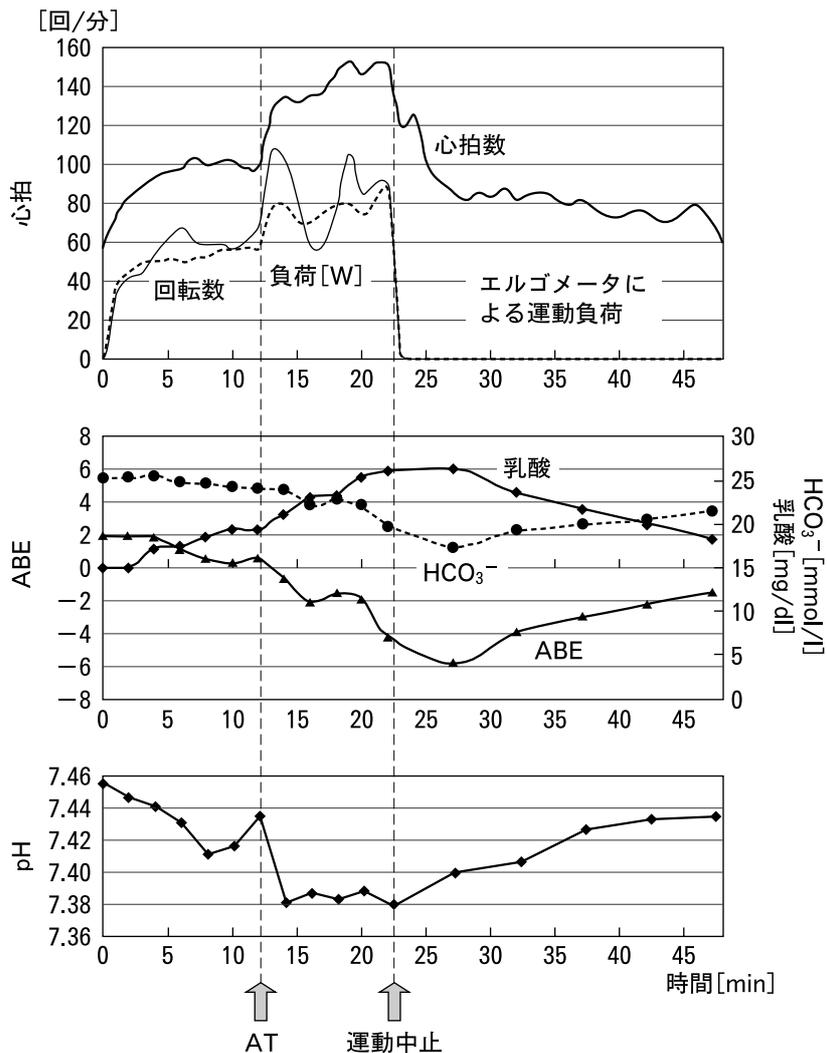


図1 透析患者における運動強度変化と BE, pH, HCO₃⁻ 濃度の関係

することが望ましい⁵⁾。

これらの点からも血液透析中に運動療法を行う利点が予想される。

2) 透析患者の体組成・体力と運動特性

維持透析患者の体組成評価において、今日もっとも簡便で実際的な評価法は多周波数インピーダンス法であろう。維持透析患者と健常人を比較すると、透析患者において下肢筋肉量低下とそれに伴う起立歩行運動の筋力低下が著明であり、この傾向は透析歴が長くなるほど顕著となる。報告によれば、透析患者の筋力は、健常人の半分以下、調節力そのほかにも著しく低下している⁶⁾。

下肢筋力の低下により、日常生活における嫌気性代謝閾値 (AT) 以下のレベルの運動と定義される家事や歩行、通院などでさえ、実際には AT レベル以上の過大な負荷・運動強度となる。AT レベルを超えた

運動では、それ以下の強度に比べ乳酸産生量がさらに著しく増大することから、日常生活においてさえ透析患者ではより多量の乳酸が産生・蓄積される傾向が強い。さらにアシドーシス緩衝機構は、腎機能の廃絶した透析患者の場合、不十分になることが多く、体内環境は急激にアシドーシスに傾き緩衝も遷延する (図1)。このような乳酸アシドーシスの遷延状態は疲労感の自覚が強く持続し、運動継続に障害となるばかりか、骨の脱灰や不整脈の誘発などの危険を伴う。また、図2のごとく透析患者の運動を細胞呼吸と肺呼吸の連関から見たガス輸送機構から考えると、いくつかの問題が浮き彫りにされる。まず、肺で摂取した酸素は肺循環から大循環・血液に渡り末梢循環・筋活動へ運ばれるが、腎性貧血のために著しく酸素運搬能が低下していることが問題となる。健常人のヘマトクリット (Ht) を 40% と仮定した場合、Ht 30% の透析患者では酸素運搬能は約 80% に低下しており、その結果、運動

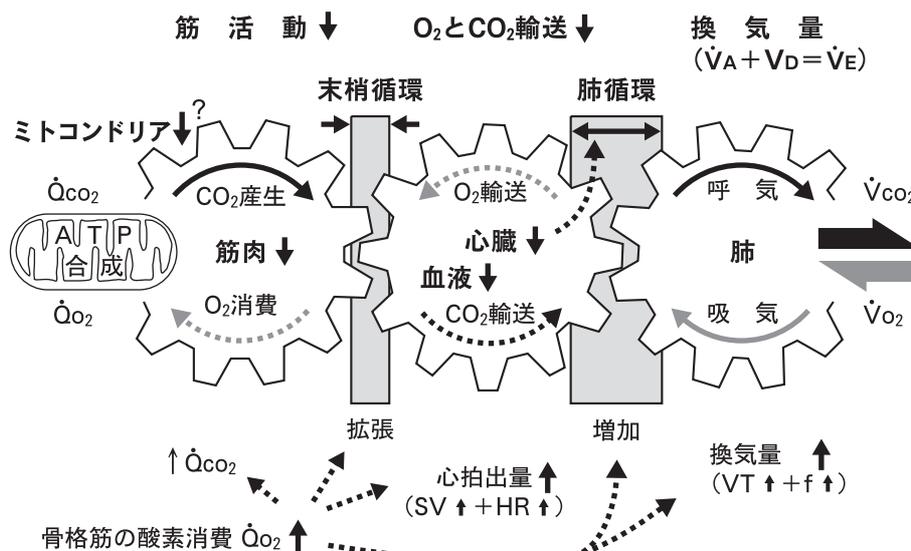


図2 透析患者の細胞呼吸と肺呼吸の連関に対するガス輸送機構

時のエネルギー産生の場合であるミトコンドリアに供給されるべき酸素は絶対量が不足する。いかに低負荷の運動強度でも生体は運動エネルギーの産生を要求するため、酸素供給によって運動エネルギーを産生する機構である TCA サイクルが利用される以前に、無酸素的なエネルギー産生のパスウェイが働き、容易に乳酸生成が増大を始める AT レベルを超えてしまう⁷⁾。

以上のような透析患者の特性により、家事や歩行、自転車などの日常生活動作でさえ疲労を体感し蓄積する運動強度となり、結果的に身体活動量が低下し、さらに筋肉量も低下するという悪循環に陥る。

3) 心肺運動負荷試験

透析患者の運動処方においては、過剰な乳酸の生成・蓄積を招来せず、疲労感も自覚させない安全な、しかしながら機能向上のために必要な負荷となる有効な運動強度の範囲を設定することがなにもまして重要である。運動時に生体は酸素と二酸化炭素のガス交換を行うが、直線的に漸増する運動負荷に対して、呼吸ごとに呼気ガスの酸素と二酸化炭素のガス比率を測定し、あわせて心電図変化をモニターする心肺運動負荷試験を用いて運動強度を設定することが望ましい(図3)。本法は運動強度の設定にも有用であるとともに、運動療法実施前後の心肺機能の治療効果の評価にも非常に有用である。心肺運動負荷試験で得られる指標としては、運動時間、最大運動強度、嫌気性代謝閾値(anaerobic threshold; AT)、最高酸素摂取量(peak



図3 自転車エルゴメーターによる心肺運動負荷試験(CPX)
(エアロモニタ AE 300S, ミナト医科学)

VO₂), 最大酸素摂取量(max VO₂)や分時換気量増加率/CO₂排出量増加率(VE/VCO₂ slope)などが求められ、患者個々人の運動強度の設定や予後に関する心肺機能の推測に有用である⁸⁾。

実際の透析患者の心肺運動負荷試験において、最大運動強度や最大酸素摂取量を求めることは筋力や心肺機能の低下などから困難なことが多く、最低限運動処方において重要なAT値を求め、有効で安全な運動の心拍範囲を得ることが現実的である。図4に示すように、透析患者は、安静時心拍が高く、逆にAT時心拍が低い傾向が強く、健常人に比して運動可能な心拍範囲が狭い。したがって一般的なカルボーネン法などの簡易的運動強度設定法では、過大な運動強度に陥ることが多く、疲労も強く自覚するため運動を拒絶ようになる。また、最高酸素摂取量(予測値)も低く、このことは透析患者の循環器機能予後とも関連し

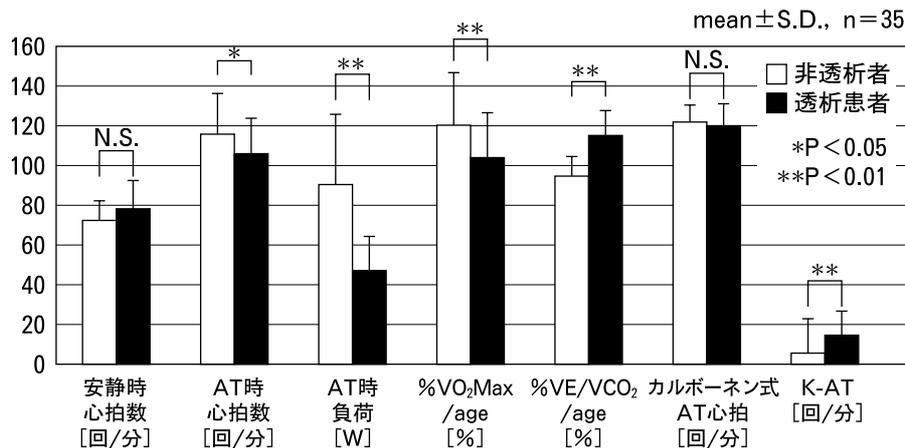


図4 透析患者と健常人の運動耐容能の比較

ている可能性が強い。

3 血液透析中のエクササイズ

1) 安全性・コンプライアンス

透析患者の運動の必要性は多くが認めるところである。運動の処方においては、種類選択、強度設定、頻度、持続時間が重要であるが、透析中のエクササイズは、血液透析患者の運動量が透析日に著しく低下することからも、頻度とコンプライアンスの両面で有用である³⁾。また、運動の種類に関しては、有酸素運動と筋力トレーニングの併用が理想的であるが、簡単な装備によって透析中に両者を施行することは困難ではないし、医療従事者による監視下に行われるために、厳密な運動強度設定の実行も可能である。

運動による諸機能の向上には、過負荷を与えることが原則であるが、設定運動強度を逸脱した非監視下の持続性エクササイズは、過剰な乳酸産生とアシドーシスにより不整脈などの危険が増大する。その点、透析中であれば、仮にATを軽度越える負荷をかけてアシドーシスに傾いても、速やかに緩衝され安全性は高い。Mooreらの血液透析中の運動療法の血行動態の検討では、透析開始後2時間目までは安定していることが報告されているが⁹⁾、運動強度設定を厳密にし、循環血液量変化率(ΔBV%)モニタリングを行うことで問題なく透析終了時まで運動は可能である。しかしながら重炭酸の補充という観点から血液透析を捉えると、過剰な乳酸を産生する運動を長時間継続することは望ましくなく、いかに透析中といえども強度設定(心拍設定)は厳密でありたい。運動の頻度も、筋への刺激と回復のサイクルから考えると、隔日の透析日

のエクササイズは理想的である。

さらに、概して受動的である血液透析というプロセスに、患者自身による能動的治療を導入できることの意義は大きく、運動時間の増大とともに体力や社会生活への自信にも良好な影響を及ぼす。

2) 心肺機能への効果

有酸素運動を行うための運動負荷にエルゴメーターを用い、下肢筋力増強のためのチューブトレーニングを併用するシステムで維持透析患者を対象に、2カ月間エクササイズを行った。その結果、有酸素運動を行う閾値が有意に拡大し、AT到達時点での運動負荷値も上昇した。また、漸増運動負荷中のCO₂排出量増加に対する分時換気量増加の比(VE/VCO₂ slope)、いわゆる二酸化炭素当量も改善した(図5)。心肺機能と予後の相関に関する報告からも、透析患者の運動耐容能改善とそれに伴う予後改善に運動療法は有用かもしれない^{1,10)}。

3) 溶質除去への影響

下肢を中心とした透析中のエクササイズが、血液量や血液分布および溶質除去にもたらす影響は未だ解明されていない。表1に示したように、諸臓器の血液配分は運動とその強度により、著しく変化する¹¹⁾。血液透析は、主として大循環系の血液の浄化を行っているが、諸臓器血流を含めた末梢血流を豊富にすることにより透析効率が向上する可能性は江口らが述べている¹²⁾。

図6のような構成で、血液透析中にエルゴメーターを用い、ペダリング運動を行った際の循環血液量変化

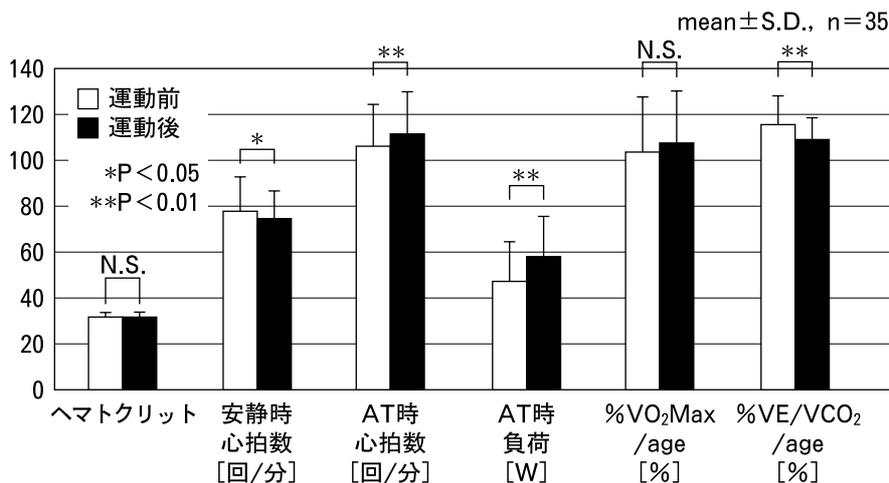


図5 透析患者のエクササイズ前後の運動耐容能の比較

表1 運動強度と局所血流配分

	血流量 (L/分)/比率 (%)			
	安静時	軽運動時	中等度	最大運動時
腹部臓器	1.4/24	1.1 /11	0.6 /03	0.3 /01
腎	1.1/21	0.9 /10	0.6 /03	0.25/01
脳	0.7/13	0.75/08	0.75/04	0.75/03
心臓	0.3/03	0.35/04	0.75/04	1.0 /04
皮膚	0.5/08	1.5 /15	1.9 /12	0.6 /02
他の臓器	0.6/10	0.4 /04	0.4 /03	0.1 /01
骨格筋	1.2/21	4.5 /47	12.5/71	22.0/88
全体	5.8	9.5	17.5	25.0

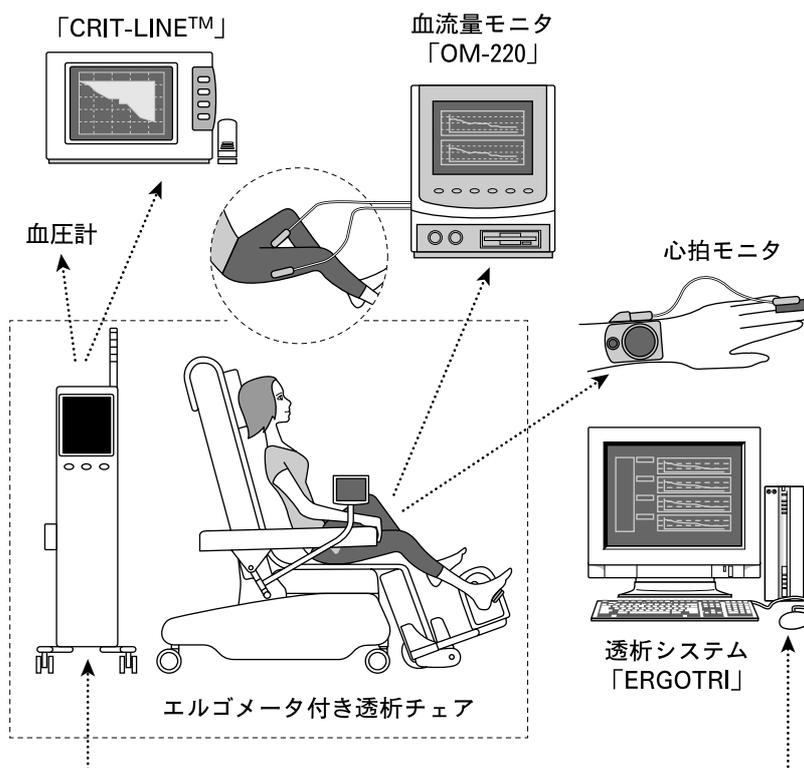


図6 運動負荷透析システム

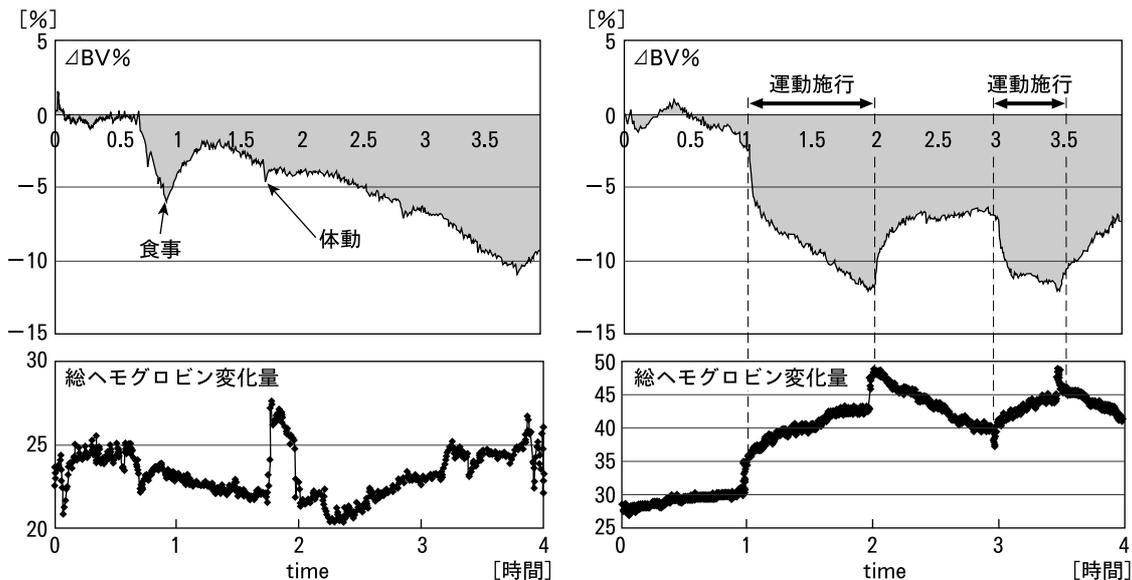


図7 透析中運動負荷オン-オフによる循環血液量変化率(ΔBV%)と大腿四頭筋血液量の変化
 BV測定はクリットラインモニターによる。Total Hb変化指数測定はOM-220(島津製作所社製)による。

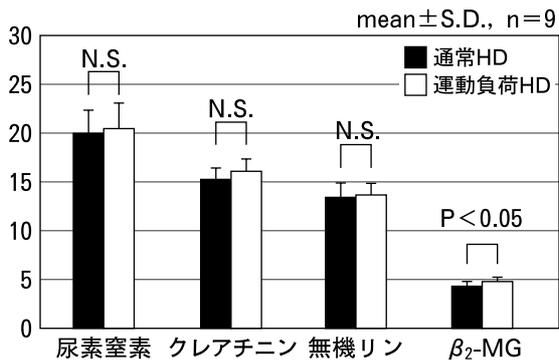


図8 通常HD・運動負荷HDのクリアスペース比較

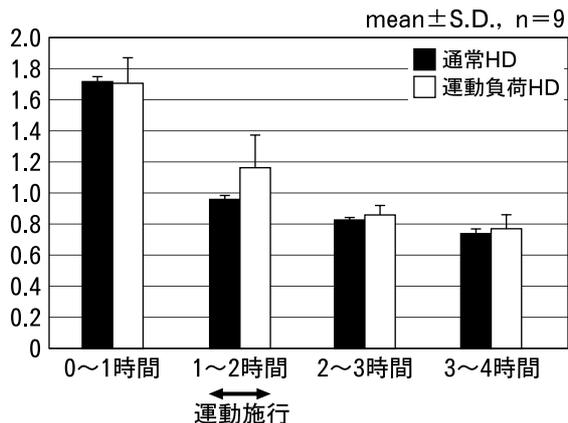


図9 通常HD・運動負荷HDのβ₂-Mgクリアスペース経過

率(ΔBV%), 下肢筋肉(大腿四頭筋)血液量をモニターすると、運動負荷によって筋血液量が増加し、大循環のヘマトクリットは上昇する。つまり、大循環から筋肉の末梢血管へボリュームがシフトしていることが想像される(図7)。

運動負荷を行った際の、溶質除去の変化を検討した結果を図8, 9に示す。非運動時に比して運動時に、β₂マイクログロブリン(β₂-Mg)のクリアスペースの増加が認められた。図10に示すように、運動を3カ月継続した患者の、透析前のβ₂-Mg値は12μg/ml程度まで低下して維持されている。運動負荷のオン-オフで筋血流が増減し、それに伴い血液分布も変動するとすれば、より効率のよい溶質除去も可能になるかもしれない。運動負荷のオン-オフ透析で、体液がプール間を頻回に移動し、結果的に攪拌効果が高まると

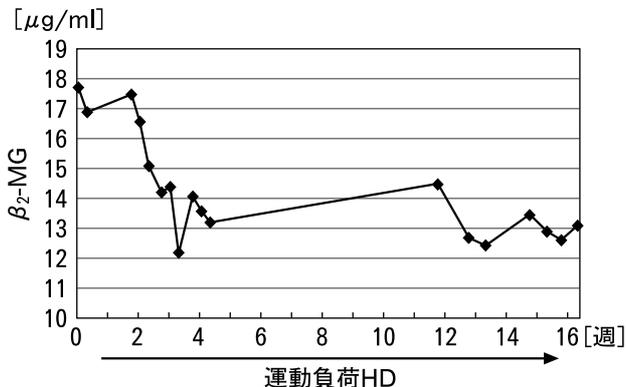


図10 運動負荷透析患者における透析前β₂-Mg値の経過

すれば、溶質の除去効率も運動の強度ではなくオン-オフのサイクルに依存するものと推察される。さらに、運動による血管の拡張と血液のシフトは、神経支配も



図 11 透析中の集団運動療法

受けることから、交感神経が過度に優位にならず鋭敏な反応性を保つ運動強度設定も重要であると考えられる。少なくとも血液透析中の下肢運動によって、溶質除去が低下する懸念はないと考えられた。

4) 透析患者の運動デザイン

透析患者が運動を治療の一環として受容し継続するためには、運動自体が疲労や苦痛をもたらすものであってはならないのは当然として、治療効果を体感・認識することが重要である。身体組成や体力全般の客観的評価を一定の期間ごとに行い、その結果に基づく適正な運動処方を繰り返すことによって、効率よく運動耐容能は向上し、ADLの改善や易疲労感の減少などの患者自身が体感しやすい効果が得られる。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、運動も綿密な処方が必要である。その意味においても血液透析中の運動は、処方に忠実な強度や量が実施されることから、運動効果も得やすい。

現在、われわれの施設では、血液透析中に3種目30分の集団運動療法（図11）を継続しているが、ADLの改善に伴って非透析時間の運動やレジャーも可能になり、生活の質も向上している。

4 まとめ

運動機能の低下による心肺機能低下を改善する手段は運動療法以外に存在しない。

日本の透析患者において、運動療法が積極的に展開されたとは言い難いが、その原因として腎不全患者の運動メカニズムの理解が不十分であったことが考えられる。今回、透析患者の運動特性・体力特性などからそのメカニズムを検討した結果、血液透析中の運動療法が合理的であるという結論に達した。実際に血液透析中に運動を行い、安全性と効果について検討したが、安全管理や運動継続という観点からも有利と考えられた。また、循環器機能の改善が大きな課題である透析患者において、安全かつ有効な運動強度領域が狭く容易にアシドーシスが遷延するハンディキャップは、過負荷を与えて機能改善を得ることを困難にしている。その点、血液透析中の重炭酸によるリアルタイムな緩衝機構は、非透析患者の心臓リハビリテーションにおいても展開し難い新たな負荷プログラムの可能性が期待できる。今後はより楽しく、効果的で普遍性を有した運動療法メニューの開発が重要になる。

文 献

- 1) Blair SN, Kampert JB, Kohl HW 3rd, et al.: Influences of cardiorespiratory fitness and other precursors on cardiovascular disease and all-cause mortality in men and women. JAMA, 276; 205-210, 1996.
- 2) 小淵めぐみ, 坂本純子, 三善あかね, 他: 血液透析患者における Quality of Life と身体活動量. 北里理学療法学, (6); 65-68, 2003.
- 3) 平野 宏: 透析患者の運動について. ぜんじんきょう,

- 217号, p. 21, 2006.
- 4) Konstantinidou E, Koukouvou G, Kouidi E, et al. : Exercise training in patients with end-stage renal disease on hemodialysis : comparison of three rehabilitation programs. *J Rehabil Med*, 34; 40-45, 2002.
 - 5) 高橋哲也 : 運動療法のプロトコール. 心肺運動負荷テストと運動療法; 南江堂, 東京, p. 262, 2004.
 - 6) 齊藤正和, 松永篤彦 : 透析患者の体力特性とその測定方法. *理学療法*, 22(1); 258-262, 2005.
 - 7) 谷口興一 : エリスロポエチンと血液レオロジー : 真空採血管粘度計の開発と臨床応用. *循環制御*, 14; 41-49, 1993.
 - 8) 伊東春樹 : 各種呼気ガス分析指標. 心肺運動負荷テストと運動療法; 南江堂, 東京, p. 103, 2004.
 - 9) Moore GE, Painter PL, Brinker KR, et al. : Cardiovascular response to submaximal stationary cycling during hemodialysis. *Am J Kidney Dis*, 31; 631-637, 1998.
 - 10) Koike A, Itoh H, Kato M, et al. : Prognostic power of ventilatory responses during submaximal exercise in patients with chronic heart disease. *Chest*, 121; 1581-1588, 2002.
 - 11) 賀来正俊 : 毛細血管ネットワークと筋血流量. *スポーツ内科アカデミア*; 南江堂, 東京, p. 54, 1998.
 - 12) 江口 圭, 池辺宗三人, 金野好恵, 他 : 新しい HDF 療法 (間歇補液 HDF : intermittent infusion HDF) の考案とその臨床効果. *透析会誌*, 40(9); 769-774, 2007.