

症例報告



維持血液透析患者の自己血管シャント狭窄例に対する 経皮的血管拡張術が透析中運動療法の循環動態に 与える影響：同一運動負荷での検討*

日比野貴志¹⁾・森下沙友美¹⁾・高橋 蓮¹⁾²⁾・石川英昭³⁾

【要 旨】

【目的】本症例検討の目的は維持血液透析患者の自己血管シャント (arteriovenous fistula ; 以下, AVF) 狭窄例に対する経皮的血管拡張術 (percutaneous transluminal angioplasty ; 以下, PTA) が透析中運動療法 (intradialytic exercise ; 以下, IDE) の循環動態に与える影響を検討することである。【症例】70歳代の男性で腎硬化症により20ヶ月前に血液透析を導入した。定期のシャントエコーでAVFの狭窄を認めたためX日にPTAを施行した。【方法】PTAをX日に施行し、測定はX-7病日とX+5病日に実施した。測定方法は10分の安静後、IDEとして20分間の電動サイクルエルゴメーターを行った。循環動態の評価として血圧、心拍数、二重積に加えて自覚的運動強度を150秒毎に測定した。【結果】PTA施行後は収縮期血圧、心拍数、二重積が上昇したが自覚的運動強度に変化はなかった。【結論】PTAによるシャント血流量の増加、総末梢血管抵抗の低下から収縮期血圧、心拍数、二重積が上昇したと考えられる。PTA施行後は循環動態が変化する点に留意してリハビリテーションを行う必要があると考える。

キーワード：自己血管シャント，経皮的血管拡張術，透析中運動療法

はじめに

近年、維持血液透析患者の高齢化に伴い身体機能が低下した患者が増加している。推算糸球体濾過量が15 mL/min/1.73 m²未満の末期腎不全患者の約80%がプレフレイルまたはフレイルを合併しており¹⁾、60歳以上の維持血液透析患者のフレイル有病率は70%以上との報告もある²⁾。それに対する治療法の1つとして行われている透析中運動療法 (intradialytic exercise ; 以下, IDE) は身体機能の改善、運動耐容能の向上、生活の質の改善など

の効果が報告されており³⁾⁴⁾、2022年の診療報酬改定において透析時運動指導等加算が新設された。

IDEのリスク管理は心疾患における運動療法のガイドラインに示されている禁忌・中止基準を適用することが腎臓リハビリテーションガイドライン⁵⁾で推奨されており、リスク管理を行う上で血圧や心拍数などの循環動態を確認することが重要である。維持血液透析患者における循環動態は透析条件や体液管理などに加えてバスキュラーアクセスも重要な要因の1つである。

* Impact of percutaneous vasodilatation of arteriovenous fistula stenosis in maintenance hemodialysis patients on the circulatory dynamics of intradialytic exercise: a study with the same exercise load

1) 医療法人偕行会 偕行会城西病院 技術部リハビリ課 (〒453-0815 名古屋市中村区北畑町4丁目1番) Takashi Hibino, PT, Sayumi Morishita, PT, Ren Takahashi, PT, MS: Department of Rehabilitation, Kaikoukai Jyosai Hospital

2) 聖隷クリストファー大学大学院 リハビリテーション科学研究科 Ren Takahashi, PT, MS: Department of Physical Therapy, School of Rehabilitation Sciences, Seirei Christopher University

3) 医療法人偕行会 偕行会城西病院 腎臓内科 Hideki Ishikawa, PhD, MD: Department of Nephrology, Kaikoukai Jyosai Hospital

E-mail: t-hibino@kaikou.or.jp

バスキュラーアクセスの確保は維持血液透析を行う上で必要不可欠であり、本邦においては89.7%が自己血管シャント (arteriovenous fistula ; 以下, AVF) である⁶⁾。AVFは感染リスクが低く、穿刺や止血が容易で安定した血液量を得られる一方でシャント血流量の増加、シャントからの還流血液量の増加、総末梢血管抵抗の低下などにより循環動態や心機能に影響を与えることが知られており⁷⁾、日本透析医学会が作製した慢性血液透析用バスキュラーアクセスの作製および修復に関するガイドライン⁶⁾では左室駆出率が30%以下の著明な心機能低下を認める場合、動静脈シャントを作製すべきではないとしている。また、AVF作製後の1年平均開存率は56%であり⁶⁾、残りの44%は狭窄や閉塞が発生する。この際、経皮的血管拡張術 (percutaneous transluminal angioplasty ; 以下, PTA) が第一選択治療となるが、Hashimotoら⁸⁾はPTAの施行によってシャント血流量が増加し、上腕動脈の血管抵抗指数が低下するとともに心拍出量、心係数が有意に上昇したと報告している。

そのため、PTAの施行がIDEに与える影響として、シャント血流量の変化による末梢循環への影響、シャントからの還流血液量の変化による前負荷の増減、総末梢血管抵抗の変化による後負荷の増減などが挙げられる。

これらの変化を考慮した上で、IDEのリスク管理を実施する必要があると考えるが過去の文献を調査しても、PTAの施行とIDEの関連性を検討した研究は見当たらない。

したがって、本症例検討の目的はPTAの施行前後で同一運動負荷のIDEを行うことで循環動態の変化を収縮期血圧、心拍数、二重積、自覚的運動強度 (rate of perceived exertion ; 以下, RPE) から考察し、新たな知見を提供することでPTAの施行前後のIDEのリスク管理の一助とすることである。

症例

70歳代男性、身長166.0 cm、PTA施行前のドライウエイト (dry weight) は63.9 kgでBMI (body mass index) 23.2 kg/m²であり、腎硬化症 (診断時期不明) により血液透析導入となった。透析歴は20ヶ月で血液透析は週3回、1回4時間の通常透析を実施していた。既往歴は高血圧症、糖尿病、慢性心不全、二次副甲状腺機能亢進症であった。日常生活動作は屋内外ともに独歩で自立しており、買い物や家事等の手段的日常生活動作も全て自立していた。

現病歴

X-21ヶ月に左前腕にAVFを作製し、X-20ヶ月に血液透析導入となった。X-1ヶ月に行った定期のシャントエコーで狭窄を確認したため、X日にPTAを施行した。PTA施行前後のシャントエコーの結果はシャント血流量が0.58 L/minから0.98 L/min、resistance indexが0.64から0.50となった。

処方薬

服薬状況は利尿剤 (スピロノラクトン、フロセミド)、持続性カルシウム拮抗剤 (アムロジピンベシル酸塩)、高リン血症治療剤 (沈降炭酸カルシウム)、選択的DPP-4阻害剤 (テネリグリプチン臭化水素酸塩水和物) でありPTA施行前後で変更はなかった。

方法

X-7日とX+5日の透析日に測定を行った。透析開始から30分後に測定を開始し、安静10分の後、IDEとして20分の電動アシスト付エルゴメーターを実施、5分の安静にて終了した。IDEの負荷設定はPTA施行前後で同一負荷とするために、負荷量0 W、回転数28 rpmの他動運動とした。測定項目は収縮期血圧、心拍数、二重積、RPEを150秒毎に測定した。

倫理的配慮

ヘルシンキ宣言に基づき、対象者には口頭での説明と文書での同意を得た。

結果

安静時平均収縮期血圧はPTA施行前が101.8 ± 10.6 mmHg、PTA施行後は126.3 ± 2.8 mmHg、運動時平均収縮期血圧はPTA施行前が109.6 ± 9.4 mmHg、PTA施行後は140.0 ± 6.2 mmHgと安静時、運動時ともに上昇した (図1)。安静時平均心拍数はPTA施行前が51.8 ± 2.3 bpm、PTA施行後が76.0 ± 2.6 bpm、運動時平均心拍数はPTA施行前が59.1 ± 3.7 bpm、PTA施行後が74.3 ± 1.2 bpmと安静時、運動時ともに上昇した (図2)。安静時平均二重積はPTA施行前が5265.45 ± 603.7、PTA施行後が9593.8 ± 209.9、運動時平均二重積はPTA施行前が6491.9 ± 840.9、PTA施行後が10409.8 ± 556.8と安静時、運動時ともに上昇した (図3)。その一方でRPEは安静時、運動時ともにPTA施行前が7、PTA施行後も7と変化を認めなかった。

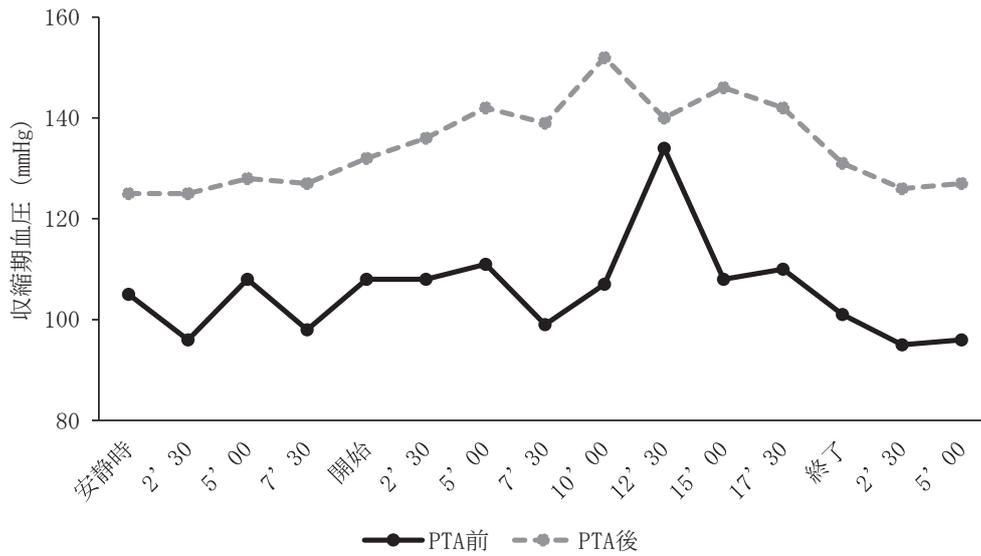


図 1. Percutaneous transluminal angioplasty (PTA) 施行前後の収縮期血圧

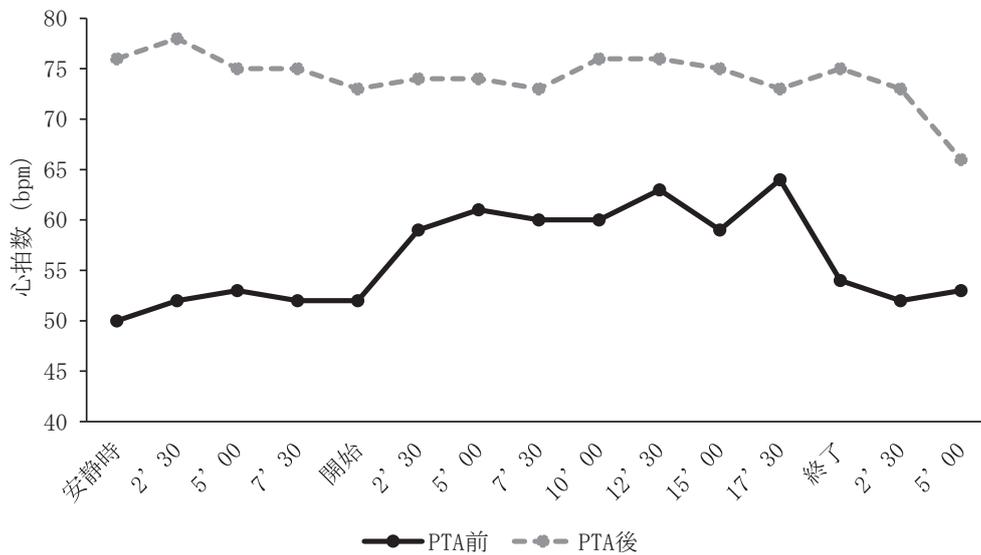


図 2. Percutaneous transluminal angioplasty (PTA) 施行前後の心拍数

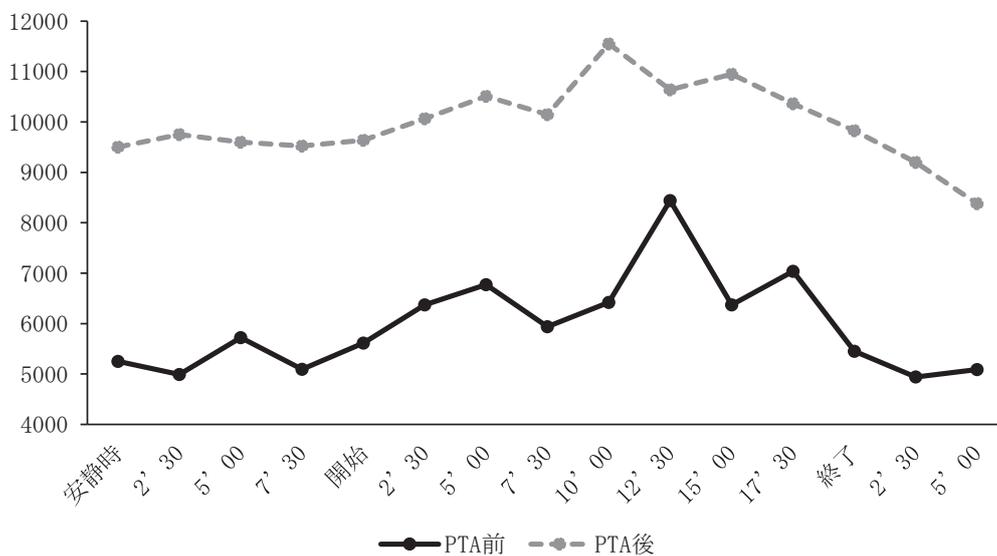


図 3. Percutaneous transluminal angioplasty (PTA) 施行前後の二重積

考察

本症例検討では、AVF狭窄例に対するPTAの施行がIDEの循環動態に与える影響を同一運動負荷にて行った結果、収縮期血圧、心拍数、二重積が上昇し、RPEは変化しなかった。

最初にPTA施行後の血圧、心拍数が安静時、運動時ともに上昇した原因について考察する。一般に血圧は心拍出量と総末梢血管抵抗の積で決定される。本症例においてPTA施行後のシャント血流量が0.58 L/minから0.98 L/minと0.40 L/min増加しているが、金ら⁹⁾は心予備能に対してシャント血流量が大きい場合、適切な心拍出量の増加が困難となり全身循環が阻害されるとしている。本症例のPTA施行前の心エコーにおいて左室拡張能の指標となるE/e'が10.32、E/Aは0.41と若干低下しているものの、収縮能の指標となる左室駆出率が44%、左室内径短縮率は32%と保たれており、心拍出量の増加が可能な心予備能を有していたと考える。そして、resistance indexが0.64から0.50へ低下しており、総末梢血管抵抗の減少に対して心拍出量を増加させる必要がある。つまり、PTAを施行後、シャント血流量が増加した結果、シャントからの還流血流量が増加し、心拍数と心拍出量の増加を引き起こしたため血圧が上昇したと考える。しかし、Shindoら¹⁰⁾はAVF狭窄例に対するPTA施行後に血圧が低下した症例を報告しており、患者毎に応答が異なるため留意が必要である。

次に、二重積の変化について考察する。二重積は収縮期血圧と心拍数の積で決定され、心筋酸素消費量の簡便な指標であることが知られている¹¹⁾。Kennethら¹²⁾によると心筋酸素消費量と心拍出量は正の相関であったと報告しており、本症例においてPTA施行後に二重積が上昇した理由は心拍出量の増加を反映していると考えられる。

また、RPEがPTAの施行前後で変化を認めなかった考察として、2つ挙げられる。1つめは維持血液透析患者における同一運動負荷で変化を検討した先行研究¹³⁻¹⁵⁾を参考に電動アシスト付きエルゴメーターを用いた他動運動（負荷量0 W・回転数28 rpm）としたが、本症例の運動耐容能と比較して運動負荷が低くRPEの変化を捉えることができなかった可能性がある。2つめは河野ら¹⁶⁾は維持血液透析患者のうち74.1%がRPEと嫌気性代謝閾値は一致しなかったと報告しており、評価方法の妥当性が低い可能性があると考えられる。

そして、PTA施行後にヘモグロビンと赤血球が増加していた（表1）。健常者においてはヘモグロ

ビンと血圧は正の相関を示し¹⁷⁾、非虚血性心筋症の維持血液透析患者を対象とした先行研究でも同様の結果であった¹⁸⁾。しかし、エリスロポエチンを投与された維持血液透析患者の血圧を解析した結果、ヘモグロビンはエリスロポエチンの用量依存的に上昇したが血圧には関連性がなかったとの報告もあり¹⁹⁾、一定の見解が得られていないため本症例への影響は不明である。

総じて本症例においてはPTAの施行によりIDE中の循環動態が変化したと考えるが、いくつかの限界が存在する。まず、循環動態に大きく影響を与える透析条件についてPTAの施行前後13回の平均値を表2に示す。透析方法、ダイアライザー、血流量に変化はなく、dry weightも観察期間において全て達成していたが、その他にいくつかの変化があった。1つめはdry weightがX-2日に-200 g下方修正されているためPTAの施行前後の体液量の変化が結果に影響を与えた可能性がある。2つめはPTA施行後の体重増加率が平均0.4%減少し、平均除水速度は0.05 L/kg/h減少した。日本透析医学会の維持血液透析ガイドライン²⁰⁾では体重増加率は中2日で6%未満、平均除水速度は15 mL/kg/hとしており、PTAの施行前後共にガイドラインを遵守していたが循環動態への影響は不明である。加えて、一回拍出量や総末梢血管抵抗がモニタリングできていないため、確定的な判断はできない。今後、それらの点に関して症例数を重ねて更なる検討を行う必要がある。

本症例に対してPTA施行前後で同一運動負荷のIDEを行い循環動態の変化を検討した結果、PTA施行後は運動時、安静時ともに血圧、心拍数が上昇し、透析関連低血圧などの有害事象を引き起こすことなく、IDEを継続することができた。この理由としてシャントからの還流血流量の増加、総末梢血管抵抗の低下に対して心拍出量の適切な増加が可能な心予備能を有していたためであると考えられる。よってPTA施行後は循環動態の急性変化が起こるが、心機能を確認し、血圧、心拍数、呼吸数、経皮的酸素飽和度、心電図モニター、自覚症状などのリスク管理を行えばIDEを継続することが可能であると考えられる。ただし、心予備能の低い症例や運動強度が高い場合の検討は不十分なため留意が必要である。加えて、AVFの平均開存期間は個々の症例で異なるため、IDEを実施する際の運動負荷設定のタイミングや調整、監視期間についても検討すべき課題である。

表 1. 心エコーおよび透析前採血結果

	PTA施行前	PTA施行後
心エコー		
左室駆出率 (%)	44	
左室内径短縮率 (%)	32	
E/e'	10.32	
E/A	0.41	
一回拍出量 (mL)	64.6	
心拍出量 (L/min)	4.92	
透析前採血		
アルブミン (g/dL)	3.7	3.9
クレアチニン (mg/dL)	7.94	8.12
尿素窒素 (mg/dL)	42.0	39.4
ナトリウム (mEq/L)	134	137
カリウム (mEq/L)	3.7	3.8
無機リン (mg/dL)	3.3	3.3
ヘモグロビン (mg/dL)	10.7	12.3
赤血球 (mg/dL)	319	376
C 反応性蛋白 (mg/dL)	0.01	0.03
HbA1c (%)	5.4	5.4
随時血糖 (mg/dL)	160	121

PTA : Percutaneous transluminal angioplasty

表 2. 透析条件

	PTA施行前	PTA施行後
透析方法	前希釈オンライン HDF	前希釈オンライン HDF
ダイアライザー	FIX-210Eeco	FIX-210Eeco
透析液	カーボスターP	カーボスターP
前体重 (kg)	64.9 ± 0.4	64.4 ± 0.4
後体重 (kg)	63.9 ± 0.1	63.7 ± 0.1
Dry Weight (kg)	63.9 ± 0.1	63.7 ± 0.0
体重増加率 (%)	1.4 ± 0.6	1.1 ± 0.6
除水速度 (mL/kg/h)	0.24 ± 0.09	0.19 ± 0.09
血流量 (mL/min)	230	230
心胸郭比 (%)	47.8	47.8

PTA : Percutaneous transluminal angioplasty

HDF : Hemodiafiltration

結語

維持血液透析患者の AVF 狭窄例に対する PTA 施行前後に同一運動負荷の IDE を行い、循環動態の変化を検討した結果、収縮期血圧、心拍数、二重積は上昇したが RPE は変化しなかった。PTA 施行後に IDE を行う際はシャントからの還流血液量の増加、総末梢血管抵抗の低下に対して心拍出量を増加させることで循環動態を維持している可能性を考慮する必要性があると考えられる。

利益相反

本症例報告を実施するにあたって COI 関係にある企業はない。

【文 献】

- 1) Reese PP, Cappola AR, et al.: Physical performance and frailty in chronic kidney disease. *Am J Nephrol.* 2013; 38 (4) : 307-315.
- 2) Johansen KL: Exercise in the end-stage renal disease population. *J Am Soc Nephrol.* 2007; 18 (6) : 1845-1854.
- 3) Huang M, Lv A, et al.: Exercise training and outcomes in hemodialysis patients: systematic review and meta-analysis. *Am J Nephrol.* 2019; 50 (4) : 240-254.
- 4) Clarkson MJ, Bennett PN, et al.: Exercise interventions for improving objective physical function in patients with end-stage kidney disease on dialysis: a systematic review and meta-analysis. *Am J Physiol Renal Physiol.* 2019; 316 (5) : 856-872.
- 5) 日本腎臓リハビリテーション学会：腎臓リハビリテーションガイドライン。南江堂，東京，2018，pp. 41-45.
- 6) 日本透析医学会：慢性血液透析用バスキュラーアクセスの作製および修復に関するガイドライン。日本透析医学会雑誌。2011; 44 (9) : 855-937.
- 7) K/DOQI Workgroup: K/DOQI clinical practice guidelines for cardiovascular disease in dialysis patients. *Am J Kidney Dis.* 2005; 45 (4 Suppl 3) : S1-153.
- 8) Hashimoto K, Kamijo Y, et al.: Impact of a change in vascular access flow volume after percutaneous transluminal angioplasty on cardiac function. *Sci Prog.* 2021; 104 (3) : 1-15.
- 9) 金成泰：AV シャントが循環動態に及ぼす影響。腎と透析 (別冊アクセス)。2001; 50: 53-55.

- 10) Shindo M, Ookawara S, et al.: Decrease in hand and cerebral oxygenation after percutaneous transluminal angioplasty for arteriovenous fistula stenosis in a patient on chronic hemodialysis. *Radiol Case Rep.* 2020; 15 (9) : 1493-1495.
- 11) Rubaker PH, Kiyonaga A, et al.: Identification of the anaerobic threshold using double product in patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol.* 1997; 79 (3) : 360-362.
- 12) Beck KC, Randolph LN, et al.: Relationship between cardiac output and oxygen consumption during upright cycle exercise in healthy humans. *J Appl Physiol (1985)* . 2006; 101 (5) : 1474-1480.
- 13) 増田明保, 矢部広樹・他: 運動療法の実施時期の違いが運動中の循環動態と自律神経反応に与える影響: 症例検討による非透析日と透析後の比較. *愛知県理学療法学会誌.* 2019; 31 (1) : 19-23.
- 14) 村上佳菜, 矢部広樹・他: 運動療法の実施時期の違いが運動中の筋酸素飽和度に与える影響: 症例検討による非透析日と透析後の比較. *愛知県理学療法学会誌.* 2020; 32 (2) : 110-115.
- 15) Takahashi R, Yabe H, et al.: A descriptive investigation of muscle oxygen saturation, blood pressure, heart rate fatigue, and physical performance on non-dialysis and dialysis days hospitalized older patients undergoing hemodialysis: a single case study. *Japanese Journal of Physical Therapy for Diabetes Mellitus.* 2023; 2 (1) : 53-64.
- 16) 河野健一, 矢部広樹・他: 血液透析患者に対する運動療法の最前線. *理学療法学.* 2017; 44 (1) : 66-71.
- 17) Atsma F, Veldhuizen I, et al.: Hemoglobin level is positively associated with blood pressure in a large cohort of healthy individuals. *Hypertension.* 2012; 60 (4) : 936-941.
- 18) Foley RN, Parfrey PS, et al.: Effect of hemoglobin levels in hemodialysis patients with asymptomatic cardiomyopathy. *Kidney Int.* 2000; 58 (3) : 1325-1335.
- 19) Abraham PA, Macres MG: Blood pressure in hemodialysis patients during amelioration of anemia with erythropoietin. *J Am Soc Nephrol.* 1991; 2 (4) : 927-936.
- 20) 日本透析医学会: 維持血液透析ガイドライン: 血液透析導入. *日本透析医学会雑誌.* 2013; 46 (12) : 1107-1155.