血液透析患者に対する回転数を一定にした透析中の仰臥位エルゴメータ運動介入の効果

Effects of Intradialytic Exercise Intervention with Paced Constant Pedal Rates in Hemodialysis Patients

野口 雅弘¹⁾ 宮城 重二²⁾ 諸江 美穂³⁾ 山口 慎一⁴⁾ 越野 慶隆⁵⁾

MASAHIRO NOGUCHI, PT, MS¹⁾, SHIGEMI MIYAGI, PhD²⁾, MIHO MOROE, PT³⁾, SHINICHI YAMAGUCHI, PT⁴⁾, YOSHITAKA KOSHINO, MD⁵⁾

¹⁾ Faculty of Health Science, Kinjo University: 1200 Kasama-machi, Hakusan-shi, Ishikawa 924-8511, Japan TEL +81 76-276-4400, FAX +81 76-275-4316 E-mail: noguchi@kinjo.ac.jp

²⁾ Department of Health Administration, Kagawa Nutrition University

³⁾ Department of Rehabilitation, Mizuho Hospital

⁴⁾ Department of Physical Therapy, Moriyama Koshino Clinic

⁵⁾ Department of Internal Medicine, Mizuho Hospital

Rigakuryoho Kagaku 32(1): 73-80, 2017. Submitted Aug. 5, 2016. Accepted Sep. 14, 2016.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to determine the influence of an intradialytic quantitative exercise intervention with paced constant pedal rates. [Subjects and Methods] Twenty-seven hemodialysis outpatients (19 men, 8 women, aged 67 ± 10 years) performed an intradialytic ergometer exercise in a supine position using paced constant pedal rates for 12 weeks. [Results] The elderly patients who were able to perform 70% (1,260 revolutions) of a target of 60 rpm for 30 min (1,800 rev), showed significant improvements in the 6-minute walk distance (6MWD) and long-sitting forward flexion. In multiple logistic regression analysis, diabetic nephropathy and performance in the 6MWD were risk factors that interfered with the patients' ability to perform 70% of the target value. [Conclusion] In intradialytic exercise, 1,260 revolutions is a cut-off point, and the gait function of diabetic nephropathy patients who exceed this pedal rate may improve.

Key words: intradialytic exercise, supine-position ergometer exercise, pedal rates

要旨:〔目的〕本研究は、血液透析患者に回転数を一定にした定量的な運動介入を行い、身体への影響を明らかにすることを目的とした。〔対象と方法〕外来透析患者 27 名（男性 19 名、女性 8 名、 67 ± 10 歳）に、回転数を一定にした透析中の仰臥位エルゴメータ運動を 12 週間行った。〔結果〕本研究の結果、1,800 回転（60 回転／分、30 分間）の基準値の 70%（1,260 回転）を保っていた高齢者は、介入後に 6 分間歩行距離と長座体前屈が有意に増加した。多重ロジスティック解析で、1,260 回転の回転数を下回るリスク因子として、糖尿病性腎症と 6 分間歩行距離低下が採択された。〔結語〕透析中運動では 1,260 回転の回転数をカットオフ値とし、1,260 回転以上の運動を指導することで歩行機能改善に寄与する可能性が示唆された。

キーワード: 透析中運動、仰臥位エルゴメータ運動、回転数

¹⁾ 金城大学 医療健康学部 理学療法学科：石川県白山市笠間町 1200（〒924-8511）TEL 076-276-4400, FAX 076-275-4316

²⁾ 女子栄養大学大学院 栄養学研究科 保健学専攻

³⁾ みずほ病院 リハビリテーション科

⁴⁾ もりやま越野医院

⁵⁾ みずほ病院 内科

I. はじめに

日本において、生活習慣病の増大とともに透析患者数が増加している¹⁾。透析に至る原因疾患として、1997年までは糸球体腎炎などの炎症疾患が最も多かったが、1998年以降では糖尿病性腎症が最も多い疾患となっており、腎臓内の糸球体細血管の動脈硬化が透析に至る主因である¹⁾。透析患者では、透析導入前の慢性腎臓病の時期からの長期的な療養、透析導入後の透析時間中の定期的な臥床による身体活動量の低下により、体力低下が生じる。さらに近年では、高齢者の加齢に伴う筋肉量減少やそれに伴う筋力低下、身体機能低下を総称してサルコペニアと呼ばれ、透析患者においてもサルコペニアによる身体活動の減少が問題となる。Johansenら²⁾は、血液透析患者では筋萎縮が生じており、筋萎縮と虚弱な身体機能の関連性を指摘している。また、松嶋³⁾によれば、透析患者の筋力、全身持久力、柔軟性は健常人の半分にも満たず、非透析日の活動量は著しく低下すると報告されている。さらに、酒井ら⁴⁾は、外来血液透析患者におけるサルコペニアの頻度を調査し、外来血液透析患者の22.2%にサルコペニアを認め、70歳以上に限定すれば48%と高頻度に生じていたと報告している。このような体力低下に加えて、透析患者では加齢、栄養障害、貧血、自律神経障害、多臓器の重複障害などの様々な合併症により、さらなる体力低下を生じるという悪循環が生じやすいと考えられる。そのため、運動による体力低下の予防が重要である。

近年、透析患者の体力低下への対策として透析中運動が注目され、様々な施設で試みられている。透析中運動には有酸素運動やレジスタンス運動など様々な試みがあるが、ベッド上での仰臥位エルゴメータ運動がよく行われている。しかしながら、仰臥位エルゴメータ運動での運動強度の設定方法は特に決まりがなく、患者の自覚的強度などによって何となく決められているのが現状である。よって、透析患者に対する効果的な統一された運動方法を明確化できれば、透析患者に対する運動介入を容易にし、健康寿命の延伸に寄与するだろう。そのためには、定量的な運動負荷により、身体にどのような影響が生じるのか、運動に対する用量反応関係を明らかにする必要がある。

通常、エルゴメータ運動での運動負荷量は、ペダルの重さと回転数によって決定する。ペダル回転数の身体への影響を調査した研究⁵⁾では、身体負荷量の決定には、ペダルの重さよりもペダル回転数の影響が大きいことを示唆している。筆者の経験上、下肢筋力低下の影響が大きい透析患者においては、ペダルの重さを増大させても局所疲労が早く生じ、ペダルを漕ぐことが困難になるため、有酸素運動となりにくい。一方、ペダルの重さは変えずに、軽い負荷のままペダルの回転数を調節するとい

う負荷設定方法について検討された文献は見当たらない。我々は、以前ペダルの重さを漸増する負荷設定方式とペダルの回転数を漸増する負荷方式の2つの方式が身体にどのような影響を及ぼすかを検討した。その結果、ペダルの回転数を漸増させた負荷方式の方が下肢全体の筋活動が高まり、効果的な運動である可能性が示唆された⁶⁾。

そこで本研究では、自宅で使用できる健康器具であるエルゴメータ機器を使用して、ペダルの重さは軽いまま（推定負荷10 W以下）で、ペダルの回転数を一定にした透析中の仰臥位エルゴメータ運動介入による身体への影響を調査した。その結果から、今後の透析中運動の運動強度設定のための示唆を得ることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

本研究の対象者は、石川県の医療法人社団瑞穂会の複数施設の透析センターで、透析療養をしている外来患者およそ200人に研究内容に関するチラシを配布し、募集した。自ら希望した患者から、後述の除外基準に該当しない27名（年齢 66 ± 10 歳、男性19名、女性8名、透析年数 7 ± 8 年）を対象とした。除外基準は、明らかなうっ血性心不全（NYHA分類Ⅳ度）、急性心筋梗塞の発症日、不安定性狭心症合併、解離性大動脈瘤合併、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、2週間以内の塞栓症、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）、医師による研究参加の不許可、明らかな認知症（HDS-R 10点以下）であった^{4,7)}。

参加者には研究開始前に、研究内容等について書面および口頭で説明し、参加の意思を同意書にて確認した。本研究は、ヘルシンキ宣言を遵守し、実施された。なお、本研究は研究開始前に、医療法人社団瑞穂会の研究倫理委員会に倫理申請を行い、承認を得た（受付番号No.6）。

2. 方法

測定項目は、肥満指標、動脈硬化指標、身体運動機能指標とした。肥満指標は、体重、Body mass index (BMI)、体脂肪率とし、体内脂肪計 TBF-310（タニタ社製）で測定した。動脈硬化指標は、上腕足首間脈波伝搬速度（brachial-ankle pulse wave velocity：以下、baPWV）および上腕足首血圧比（ankle-brachial index：以下、ABI）とし、血圧脈波検査装置 BP-203RPEIII（オムロンコーリン社製）により測定した。身体運動機能は体力要素に含まれる筋力、柔軟性、バランス能力、心臓呼吸系持久力（運動耐容能）とした。具体的な測定項目は、筋力として握力および膝伸展筋力、バランス能力と

して開眼片脚立位、柔軟性として長座体前屈、運動耐容として6分間歩行距離を測定した。握力は、デジタル握力計（グリップD TKK5401、竹井機器工業社製）、膝伸展筋力測定は、筋力計ミュータスF-1（アニマ社製）、柔軟性はデジタル長座体前屈計T.K.K.5412（竹井機器工業社製）を使用した。各項目は、3ヵ月間の運動介入前後で測定し、測定は透析日の透析前に行った。

運動介入には、ペダルの重さは変えられず、軽い負荷（推定負荷10W以下）で、回転数がカウントでき、家庭でも使用可能な健康器具である電動サイクルマシンエスカルゴPBE-100（明成社製）を使用した。この機器は、電動アシストができる機器であるが、今回は電動アシストのない状態で対象者の自動運動のみでエルゴメータ運動負荷を行った。運動は、透析時間中の仰臥位エルゴメータ運動とした。

日本において、血液透析患者に対する運動介入方法は明確にされておらず、ガイドラインなども存在しない。そのため、本研究ではアメリカスポーツ医学会のガイドライン⁸⁾および日本循環器学会や日本心臓リハビリテーション学会などの10学会で作成した「心血管疾患におけるリハビリテーションに関するガイドライン」⁷⁾（以下、心リハガイドライン）に沿って、実験プロトコルを作成した。

運動時間は30分、ペダル回転数は60回転/分で統一した。回転数は、メトロノームに合わせて漕ぎ、運動終了時の総回転数で確認した。運動は、透析開始後30分から60分の間に運動を開始した。1回の運動量は、60回転/分×30分間（1,800回転）を基準とした。運動介入前後で、血圧、脈拍を測定した。運動後には、運動中の運動強度を自覚的運動強度のスケールであるBorg Scaleで、運動中の胸部の苦しさや下肢の疲労感の2通りの自覚的運動強度を聴取した。運動介入期間は3ヵ月間（12週間）とし、毎回の透析時に運動を行った。透析回数は、26人が週3回、1人が週2回であった。

糖尿病性腎症は、透析原疾患の中でも経過が悪く、予後にも影響することが示されている。日本における糖尿病性腎症における透析導入患者の5年生存率は、60.3%といわれており⁹⁾、透析原疾患として糖尿病性腎症は死亡リスクが65%高いという報告もある¹⁰⁾。そのため、透析原疾患で糖尿病性腎症群（以下、DM群）と非糖尿病性腎症群（以下、non-DM群）に区分した。また、年齢は65歳以上の高齢群と65歳未満の非高齢群の2群に区分した。対応のないt検定およびMann-WhitneyのU検定で、各測定項目間の2群の比較を行った。また、本研究の結果、基準の1,800回転の回転数が保っていた対象者と、1,800回転に満たない対象者に分かれており、回転数に大きなばらつきがみられた。そのため、効果的な運動量となるカットオフ値を探索するため、今回は10%ごとに回転数で2群に分け、90%回転（1,620回転）、

80%回転（1,440回転）、70%回転（1,260回転）のカットオフ値を設定した。そして、1,620回転以上群と同回転未満群、1,440回転以上群と同未満群、1,260回転以上群と同未満群にそれぞれ区分し、比較検討した。また、3つのカットオフ値を従属変数として、それぞれ多重ロジスティック回帰分析を行った。独立変数は、他の検定において有意差のみられた年齢、透析原疾患、介入前開眼片脚立位時間、介入前長座体前屈、介入前6分間歩行距離の5項目とした。多重ロジスティック回帰分析における適合度は、Hosmer-Lemeshow検定で確認した。全ての解析には、SPSS Ver.22.0（IBM社製）を使用した。有意水準は5%とした。

III. 結 果

3ヵ月間の運動介入の毎回の運動量を総回転数で記録した。回転数の全体の結果は、 $1,503.8 \pm 423.9$ 回転で、基準の1,800回転に満たない対象者も見られた。運動後に聴取したBorg Scaleは胸部 10.6 ± 1.9 、下肢 10.8 ± 2.0 であり、自覚的運動強度は「楽である」から「ややきつい」程度の低～中等度強度であった。運動介入回数は、全体で 36.0 ± 3.0 回であった。週2回透析の対象者のみ26回の介入となり、10回程度少ない介入となった。

表1には、年齢別、透析原疾患別での介入前の測定値全体の特性を示す。対象者全体で、高齢群17名、非高齢群10名、DM群13名、non-DM群14名であった。高齢群と非高齢群間の比較では、高齢群の方が開眼片脚立位時間は有意に低く（ $p < 0.01$ ）、baPWV（ $p < 0.05$ ）、6分間歩行距離（ $p < 0.01$ ）は有意に高かった。透析原疾患では、DM群において、開眼片脚立位時間が有意に低下していた（ $p < 0.05$ ）。回転数は、高齢群に比べ非高齢群が高い傾向があり、透析原疾患ではDM群に比べnon-DM群が高い傾向があったが、どちらも両群間に有意差は認められなかった。

表2には年齢別、透析原疾患別の介入前後の比較を示す。年齢別の比較では、介入前後ともに非高齢群に比べて高齢群で、baPWVは有意に高く（ $p < 0.05$ ）、開眼片脚立位時間、6分間歩行距離は有意に低値を示した（ $p < 0.01$ ）。また、年齢別の介入前後の比較では高齢群において、介入後に6分間歩行距離が有意に高値を示した（ $p < 0.05$ ）。透析原疾患別の介入前後の比較では、DM群において、介入後にbaPWVが有意に高値を示した（ $p < 0.05$ ）。non-DM群では、6分間歩行距離が介入後に有意に改善した（ $p < 0.05$ ）。DM群とnon-DM群間の比較では、開眼片脚立位時間において、介入前はnon-DM群に比べDM群の方が有意に低かった（ $p < 0.05$ ）が、介入後には有意差は認められなかった。baPWVは介入前後ともにDM群の方が高値を示しており、介入後に有意差が認められた（ $p < 0.01$ ）。

表1 年齢別，透析原疾患別の介入前の測定値全体の特性

項目	年齢別		透析原疾患別		全体
	高齢群 (n=17)	非高齢群 (n=10)	DM 群 (n=13)	non-DM 群 (n=14)	
年齢 (歳)	72.3 ± 5.7	55.7 ± 6.8**	69.2 ± 8.8	63.4 ± 10.8	66.1 ± 10.1
性別 (男性：女性)	12：5	7：3	9：4	10：4	19：8
透析原疾患 (DM：nonDM)	9：8	2：8	13：0	0：14	13：14
回転数 (回／30 分)	1406.1 ± 474.6	1716.6 ± 215.0	1436.8 ± 468.8	1599.3 ± 373.3	1521.1 ± 421.9
身長 (cm)	161.2 ± 10.2	163.6 ± 6.5	161.3 ± 10.3	162.8 ± 7.8	162.1 ± 8.9
体重 (kg)	55.9 ± 9.4	59.9 ± 10.8	56.2 ± 12.2	58.5 ± 7.5	57.4 ± 9.9
BMI (kg・m ⁻²)	21.6 ± 3.5	22.4 ± 3.8	21.6 ± 4.3	22.1 ± 2.9	21.9 ± 3.6
体脂肪率 (%)	20.7 ± 9.6	19.9 ± 7.7	20 ± 9.8	20.8 ± 8.2	20.4 ± 8.8
baPWV (cm/s)	2081.0 ± 675.2	1658.3 ± 203.1*	2110.4 ± 738.4	1751.8 ± 326.0	1924.4 ± 581.5
ABI	1.14 ± 0.20	1.29 ± 0.18	1.1 ± 0.2	1.20 ± 0.18	1.15 ± 0.19
握力 (kg)	24.0 ± 10.8	31.0 ± 8.2	23.1 ± 7.4	29.9 ± 11.8	26.6 ± 10.4
膝伸展筋力 (kgm)	20.0 ± 10.8	27.3 ± 13.2	21.3 ± 11.6	24.0 ± 12.7	22.7 ± 12.0
開眼片脚立位時間 (s)	21.0 ± 20.9	43.1 ± 22.8**	16.8 ± 16.4	40.6 ± 24.2*	29.1 ± 23.8
長座体前屈 (cm)	29.0 ± 16.5	33.1 ± 7.4	31.2 ± 12.5	29.8 ± 15.4	30.5 ± 13.8
6 分間歩行距離 (m)	343.9 ± 124.1	525.0 ± 89.8**	407.5 ± 145.3	414.3 ± 144.5	411.0 ± 142.1

baPWV：brachial-ankle pulse wave velocity, ABI：ankle-brachial index. *：p<0.05, **：p<0.01 (高齢群 vs 非高齢群, DM 群 vs non-DM 群).

表2 年齢，透析原疾患別の介入前後の比較

	介入前	介入後
1. 年齢別		
高齢群 (n=17)		
baPWV (cm/s)	2081.0 ± 675.2	2252.5 ± 668.2
開眼片脚立位時間 (s)	21.0 ± 20.9	21.2 ± 21.2
6 分間歩行距離 (m)	343.9 ± 124.1	387 ± 131.7*
非高齢群 (n=10)		
baPWV (cm/s)	1658.3 ± 203.1 [†]	1807.3 ± 324.1 [†]
開眼片脚立位時間 (s)	43.1 ± 22.8 ^{††}	46.4 ± 22.3 ^{††}
6 分間歩行距離 (m)	525.0 ± 89.8 ^{††}	534.2 ± 90.3 ^{††}
2. 透析原疾患別		
DM 群 (n=13)		
baPWV (cm/s)	2110.4 ± 738.4	2327.8 ± 621.1*
開眼片脚立位時間 (s)	16.8 ± 16.5	20.3 ± 20.8
6 分間歩行距離 (m)	407.5 ± 145.3	423.9 ± 142.7
non-DM 群 (n=14)		
baPWV (cm/s)	1751.8 ± 326.0	1834.7 ± 470.2 ^{††}
開眼片脚立位時間 (s)	40.6 ± 24.2 [†]	40.1 ± 24.5
6 分間歩行距離 (m)	414.3 ± 144.5	457.9 ± 134.6*

baPWV：brachial-ankle pulse wave velocity. 上記以外の項目は有意差を認めず. *：p<0.05, **：p<0.01 (介入前 vs 介入後), [†]：p<0.05, ^{††}：p<0.01 (DM 群 vs non-DM 群).

表3-1に，各回転数のカットオフ値で2群に分けた介入前後および各回転数の回転数以上群と未満群の比較の結果を示す．全体の結果では，baPWVは全ての回転数以上群で介入後に有意に高値を示した (p<0.05)．6分間歩行距離は，介入前後ともに全ての回転数において，回転数未満群で有意に距離が短縮していた (p<0.01)．

また，表2において介入前後に高齢群の方が有意に悪化傾向を示していたため，高齢者のみで検証した．表3-2に，高齢者群を各回転数のカットオフ値で2群に分け，同様の比較を行った結果を示す．各回転数の以上群と未満群間の比較では，握力で全ての回転数群の介入前後，膝伸展筋力の90%回転および70%回転の介入前後と

表3 全対象者、および高齢群での回転数のカットオフ値で群分けした各要因の介入前後および回転数以上群と未満群の比較

	90%回転 ^a		80%回転 ^b		70%回転 ^c	
	介入前	介入後	介入前	介入後	介入前	介入後
1. 全体						
baPWV (cm/s)						
同回転以上群	1882.5 ± 401.3	2082.1 ± 592.2*	1859.4 ± 384.3	2026.8 ± 580.1*	1835.9 ± 385.8	2013.6 ± 565.5*
同回転未満群	2001.0 ± 800.1	2080.1 ± 628.8	2071.0 ± 874.6	2184.2 ± 645.6	2150.3 ± 899.7	2233.5 ± 671.8
握力 (kg)						
同回転以上群	31.9 ± 7.7	31.8 ± 9.2	30.8 ± 8.5	30.6 ± 9.7	31.1 ± 8.3	30.7 ± 9.4
同回転未満群	18.9 ± 9.0 ^{††}	18.4 ± 8.0 ^{††}	18.1 ± 8.6 ^{††}	17.8 ± 7.8 ^{††}	15.8 ± 5.6 ^{††}	15.8 ± 5.4 ^{††}
膝伸展筋力 (kgm)						
同回転以上群	29.1 ± 10.9	30.7 ± 14.3	27.5 ± 11.3	29.1 ± 14.3	27.0 ± 11.2	29.1 ± 13.9
同回転未満群	13.4 ± 6.0 ^{††}	16.5 ± 7.7 ^{††}	13.1 ± 6.7 ^{††}	16.4 ± 8.3 [†]	12.5 ± 6.9 ^{††}	14.9 ± 7.5 ^{††}
開眼片脚立位時間 (s)						
同回転以上群	38.9 ± 24.8	39.2 ± 25.0	36.2 ± 24.8	36.7 ± 24.6	34.8 ± 24.8	35.1 ± 25
同回転未満群	14.9 ± 13.2 ^{††}	17.9 ± 18.3 [†]	15.1 ± 14.2 ^{††}	18.2 ± 20.4	15.7 ± 15.1 [†]	19.9 ± 21.1
長座体前屈 (cm)						
同回転以上群	35.1 ± 8.5	37.5 ± 9.5	33.9 ± 9.9	37.0 ± 9.1	32.5 ± 11.4	35.8 ± 10.2
同回転未満群	23.8 ± 17.5 [†]	24.6 ± 13.1 ^{††}	23.7 ± 18.3	22.9 ± 13.9 ^{††}	25.7 ± 18.4	23.9 ± 14.5 [†]
6分間歩行距離 (m)						
同回転以上群	489.6 ± 106.1	531.0 ± 78.1	478.1 ± 106.6	515.1 ± 87.4	469.1 ± 110.8	504.8 ± 96.1
同回転未満群	296.7 ± 106.8 ^{††}	311.4 ± 90.3 ^{††}	276.8 ± 105.5 ^{††}	294.3 ± 90.2 ^{††}	273.0 ± 112.2 ^{††}	291.3 ± 95.9 ^{††}
2. 高齢群						
baPWV (cm/s)						
同回転以上群	2130.5 ± 362.9	2418.1 ± 646.4	2065.4 ± 391.5	2291.9 ± 696.9	1636.9 ± 203.1	1791.1 ± 339.4
同回転未満群	2037.0 ± 890.0	2123.7 ± 693.7	2098.5 ± 930.8	2213.1 ± 683.9	2193.0 ± 963.0 [†]	2273.6 ± 715.2
握力 (kg)						
同回転以上群	31.3 ± 8.2	31.3 ± 10.8	29.2 ± 9.8	29.2 ± 11.8	32.4 ± 7.1	31.9 ± 7.4
同回転未満群	17.6 ± 8.8 [†]	17.4 ± 7.9 [†]	18.2 ± 9.2 [†]	17.9 ± 8.3 [†]	15.6 ± 6.0 ^{††}	15.7 ± 5.8 ^{††}
膝伸展筋力 (kgm)						
同回転以上群	27.6 ± 9.5	29.2 ± 12.2	26.2 ± 9.8	27.3 ± 12.7	28.8 ± 13.1	30.9 ± 16.2
同回転未満群	13.3 ± 6.7 [†]	15.5 ± 8.3 [†]	13.0 ± 7.1 [†]	15.9 ± 8.8	12.3 ± 7.4 ^{††}	14.2 ± 7.8 ^{††}
開眼片脚立位時間 (s)						
同回転以上群	30.6 ± 24.5	30.4 ± 25.5	28.0 ± 24.3	28.5 ± 24.5	44.4 ± 23.8	44.9 ± 23.1
同回転未満群	12.4 ± 13.0	13.1 ± 13.0	13.1 ± 13.8	13.0 ± 13.9	13.5 ± 14.8 ^{††}	14.1 ± 14.6 [†]
長座体前屈 (cm)						
同回転以上群	37.6 ± 9.0	39.5 ± 10.4	34.3 ± 12.7	39.0 ± 9.8	31.3 ± 14.9	36.3 ± 12.14*
同回転未満群	21.1 ± 18.3 [†]	22.6 ± 13.5 ^{††}	22.4 ± 19.1	20.9 ± 13.5 ^{††}	24.5 ± 19.6	21.8 ± 14.3 [†]
6分間歩行距離 (m)						
同回転以上群	452.9 ± 92.2	494.3 ± 60.3	438.1 ± 95.0	477.0 ± 74.2	423.6 ± 99.0	459.4 ± 87.14*
同回転未満群	261.0 ± 79.2 ^{††}	281.7 ± 67.6 ^{††}	251.8 ± 79.3 ^{††}	272.4 ± 65.9 ^{††}	243.9 ± 82.1 ^{††}	265.7 ± 68.2 ^{††}

^a: 1,620 回転, 同回転以上群 (n=16), 未満群 (n=11), ^b: 1,440 回, 同回転以上群 (n=16), 未満群 (n=9), ^c: 1,260 回, 同回転以上群 (n=19), 未満群 (n=8).
^d: 1,620 回転, 同回転以上群 (n=8), 未満群 (n=9), ^e: 1,440 回, 同回転以上群 (n=9), 未満群 (n=8), ^f: 1,260 回, 同回転以上群 (n=10), 未満群 (n=7). baPWV: brachial-ankle pulse wave velocity. 上記以外の項目は有意差を認めず. *: p<0.05 (介入前 vs 介入後), †: p<0.05, ††: p<0.01 (回転以上群 vs 同回転未満群).

80%回転の介入前, 開眼片脚立位時間の70%回転の介入前後, 長座体前屈の90%回転の介入前後と80%回転および70%回転の介入後, 6分間歩行距離の全ての回転数群の介入前後において, 各回転数以上群の方が未満群に比べて有意に高値を示した. baPWVについては, 回転数以上群と未満群間の比較では70%回転の介入前で有意差が認められ, 回転数未満群の方が有意に高値を示した (p<0.05). 介入前後の比較では, 1,260回転以上群のみで長座体前屈と6分間歩行距離に有意な改善が認められ (それぞれ p<0.05), 他の回転数では, 介入

前後で有意差は認められなかった.

各回転数の運動中の Borg Scale は, 1,620回転以上群で胸部, 下肢ともに 10.3 ± 2.0, 同回転未満群で胸部 11.1 ± 1.8, 下肢 11.6 ± 2.1, 1,440回転以上群で胸部, 下肢ともに 10.4 ± 1.9, 同回転未満群で胸部 11.0 ± 1.9, 下肢 11.7 ± 2.4, 1,260回転以上群で胸部 10.2 ± 2.1, 下肢 10.1 ± 2.1, 同回転未満群で胸部 11.6 ± 0.5, 下肢 12.4 ± 1.1 であった. これらの結果では, 各回転数以上群に比べ, 同回転数未満群が高値を示しており, 特に下肢では90%回転, 80%回転, 70%回転の全てで有意差

表4 多重ロジスティック回帰分析の結果

	偏回帰係数	有意確率	オッズ比	信頼区間
(1) 90%回転 (χ^2 検定: $p < 0.01$, Hosmer-Lemeshow 検定: $p = 0.785$)				
介入前 6 分間歩行距離	-0.016	0.007	0.984	0.972-0.996
(2) 80%回転 (χ^2 検定: $p < 0.01$, Hosmer-Lemeshow 検定: $p = 0.434$)				
介入前 6 分間歩行距離	-0.019	0.015	0.981	0.966-0.996
(3) 70%回転 (χ^2 検定: $p < 0.01$, Hosmer-Lemeshow 検定: $p = 0.826$)				
透析原疾患	3.800	0.045	44.698	1.096-1823.443
介入前 6 分間歩行距離	-0.026	0.028	0.974	0.951-0.997

従属変数は、当該回転以上群を 0, 回転未満群を 1, 独立変数は、年齢, 透析原疾患 (non-DM 群 = 0, DM 群 = 1), 介入前開眼片脚立位時間, 介入前長座体前屈, 介入前 6 分間歩行距離の 5 変数とした。

が認められた ($p < 0.05$)。この 1,260 回転以上群および同未満群の 6 分間歩行の平均距離 (信頼区間) はそれぞれ, 467.5 ± 113.7 m (410.9 m- 524.1 m), 291.1 ± 107.7 m (191.5 m- 390.8 m) であった。

90%回転, 80%回転, 70%回転の各回転数以上群と同未満群を従属変数として, 多重ロジスティック回帰分析により, 各回転数を満たすことに関連する因子を検討した。独立変数の多重共線性を確認するため, 各項目間の相関関係を求めた。その結果, 身体運動機能の握力, 膝伸筋力, 6 分間歩行距離は強い相関関係が認められたため, 介入前後で改善がみられた 6 分間歩行距離のみを抽出した。多重ロジスティック回帰分析の結果を表 4 に示す。90%回転, 80%回転では, 独立変数として介入前 6 分間歩行距離のみが採択された。70%回転では, 介入前 6 分間歩行に加えて透析原疾患も採択された。Hosmer-Lemeshow 検定では, 全ての解析で $p < 0.05$ となり, 適合性が良いという結果であった。

IV. 考 察

対象者の年齢は, 30 代から 80 代と幅広い患者層となり, 65 歳以上の高齢群では baPWV は有意に高値を示し, 開眼片脚立位時間, 6 分間歩行距離といった運動機能も有意に低下していた。また, 透析原疾患別の比較では, DM 群において開眼片脚立位時間が有意に低下していた。baPWV は動脈硬化の指標であり, 日本循環器学会, 日本高血圧学会, 日本腎臓学会等 10 学会による合同研究班の報告¹¹⁾によれば, baPWV は 1,800 cm/s が心血管疾患発症の高リスクの目安とされている。本研究の結果, 65 歳以上の対象者は高リスクに該当した。baPWV は加齢の影響を受けることも知られており¹¹⁾, 本研究の透析患者においても同様の結果であったと考えられる。

年齢と透析原疾患別に, 介入前後の比較を行った。その結果, 透析原疾患では DM 群で baPWV が有意に高値を示し, non-DM 群で 6 分間歩行距離が有意に延長した。末期腎不全患者の baPWV と関連要因を調査した研究で

は, 年齢, 糖尿病が独立して関連する因子であったことが報告されている¹²⁾。本研究において, 高齢者および糖尿病性腎症患者では baPWV が高値で動脈硬化が進行していたことは, 先行研究同様に血液透析患者でも, 動脈硬化が進展していることが示唆されたと考えられる。一方で, 透析中の仰臥位エルゴメータ運動により, 心肺機能や持久性, 下肢筋力や歩行能力が改善するとの報告がある¹³⁾。今回の運動介入方法は, 自覚的運動強度では低強度から中等度強度で, 非糖尿病性腎症の透析患者においては歩行距離を改善し, 持久性を向上できる有効な運動方法である可能性を示唆した。特に, 本研究で使用了家庭用の運動機器である電動サイクリング機器で結果が得られたことは, 今後より容易な運動介入で身体機能の向上が図れる可能性があり, 有益な結果であると考えられる。一方で, 糖尿病性腎症の透析患者においては, 運動能力は介入前後で変化は乏しく, 改善は難しいという結果であった。糖尿病性腎症の有無での透析中運動による運動能力改善効果の違いについて研究された文献は見当たらない。2 型糖尿病に対する有酸素運動による運動能力などの改善効果は, エビデンスが得られているが, 糖尿病が進行した糖尿病性腎症患者では, 透析中の低~中等度運動による運動能力の改善は難しい可能性があると考えられる。

前述したように, 本研究では基準の回転数の 90%, 80%, 70% をカットオフ値として 2 群に分け, 介入前後を比較した。その結果, 全ての回転数以上群で介入後に baPWV が高値を示した。高齢者に対するコホート研究では, 中等度以上の身体活動で baPWV が有意に低値になることを示している¹⁴⁾が, 透析患者に対する運動で, baPWV を見た研究は少ない。先行研究である Headley ら¹⁵⁾や Koh ら¹⁶⁾の研究では, 慢性腎不全や透析患者への運動介入の結果, baPWV には改善はみられなかったとあり, 本研究の結果においてもこれらの結果と同様に, baPWV や ABI の改善は認められなかった。血液透析患者において, baPWV は健常者に比べて高値であり, 心血管イベントの独立した危険因子であることは示されている¹⁷⁾が, 運動によって血液透析患者の

baPWV や ABI が改善するとの報告は今のところ見当たらない。baPWV は動脈硬化の指標であり、高値になるほど動脈の伸展性の低下を反映する。透析患者では、交感神経活動の亢進、レニン-アンジオテンシン系の亢進、抗利尿ホルモンの増量、などの様々な因子の影響を受けて血管抵抗性が增大すると言われている¹⁸⁾。今回は一定数以上の回転数で運動が行えていた対象者で baPWV は有意に高くなっており、透析患者では運動以外の血管抵抗性が增大する様々な他の因子の影響を受けたために高値を示したのではないかと考えられる。

また、介入前後の結果では各回転数のカットオフ値で分けた群の全てで 6 分間歩行距離は改善傾向を示し、70% 回転数の 1,260 回転以上群では、65 歳以上の高齢者で介入後に有意に歩行距離が延長した。また、各回転数の以上群と未満群の間では未満群で有意に歩行距離が低下していた。相関などの結果を踏まえて、90% 回転、80% 回転、70% 回転の各以上群と未満群を従属変数として、多重ロジスティック回帰分析を行い、各基準回転数を保つための決定要因について検討した。その結果、90% 回転、80% 回転では、6 分間歩行距離が採択され、それぞれのオッズ比は 0.984 と 0.981 であった。これは、6 分間歩行距離が長い場合に、90% 回転と 80% 回転の回転数を保てないリスクが、それぞれ約 1.6% と 1.9% 低下することを示している。また、70% 回転においては、糖尿病性腎症と 6 分間歩行距離が採択され、オッズ比はそれぞれ 44.698、0.974 であった。これは先ほどと同様に、糖尿病性腎症では 70% 回転の 1,260 回転を保てないリスクが約 44.7 倍増大し、6 分間歩行距離が長い対象者では、同様のリスクが 2.6% 低下することを示している。前述したとおり、糖尿病性腎症では、baPWV の数値が有意に悪化しており、ABI の数値も低く、下肢動脈が硬化、閉塞傾向にあることが示唆される。下肢動脈の閉塞により虚血を生じる場合は、歩行などの有酸素運動によって、下肢の易疲労性や疼痛を生じるため、運動の継続が困難になる。日本脈管学会の「下肢閉塞性動脈硬化症の診断・治療指針Ⅱ」によると、筋に血液を供給する動脈に閉塞があると運動時の筋血流量増加が制限されるため、跛行症状と関連のある酸素供給と筋代謝の不均衡が生じるとされている¹⁹⁾。そのため、今回糖尿病性腎症患者で回転数の維持が難しかったと考えられる。

70% 回転 (1,260 回転) 以上群では、高齢群で 6 分間歩行距離の有意な改善が認められた。今回この 70% 以上群の信頼区間は 410.9 m から 524.1 m であり、1,260 回転以上の運動はこの歩行距離と同等の運動量であることが示唆された。普段の歩行距離を延長し、身体活動量を向上させることで、身体に好影響を及ぼすことは明らかであるが、透析中の運動においても 1,260 回転以上の回転数の運動を継続することで同等の効果が得られる可

能性があると考えられる。また、高齢者で多いサルコペニアでは、歩行速度が身体機能の指標として使用される。アジアのサルコペニアワーキンググループ (The Asian Working Group for Sarcopenia : 以下、AWGS) の基準では、歩行速度は、0.8 m/s を診断基準のカットオフ値としている²⁰⁾。この速度を 6 分間歩行にあてはめると歩行距離は、288 m となる。70% 未満群の 6 分間歩行距離の平均値は 291.1 m であり、ほぼ近似する。つまり、この 70% 以上の 1,260 回転の回転数での仰臥位エルゴメータ運動を継続することで、AWGS サルコペニア基準より若干強い負荷をかけ続けることができ、歩行距離の改善が期待できると考えられる。この結果から、今回運動介入した軽いペダル負荷による仰臥位エルゴメータ運動においては、この 1,260 回転を保持するように指導し、この回転数を保持できるかどうかをチェックポイントにして、回転数を保つように指導することが今後の透析中運動で重要になる可能性がある。特に、本研究では、家庭用の健康器具であるエルゴメータ機器を使用したことから、今後本研究の結果をもとに、透析中運動に加えて、自宅での運動指導などに活用していくことで、透析患者の健康管理に大きく寄与できる可能性がある。

本研究では、一定の回転数という統一された運動強度の影響や一定の回転数を保つことが難しくなるリスク因子について確認することはできたが、今後血液透析患者の各個人の体力レベルに合わせた運動強度の設定方法についてはまだ不明確である。今後、運動のマニュアル化を進めることで、透析運動ガイドラインを策定することが可能となる。そのために今後ペダル回転数やペダルの重さを具体的にどう設定していくか基礎的な研究を行い、運動処方について検討していく必要がある。

引用文献

- 1) 日本透析医学会：2013 年末の慢性透析患者に関する基礎集計。 <http://docs.jsdt.or.jp/overview/index.html> (閲覧日 2015 年 12 月 17 日)。
- 2) Johansen KL, Shubert T, Doyle J, et al.: Muscle atrophy in patients receiving hemodialysis: Effects on muscle strength, muscle quality, and physical function. *Kidney Int*, 2003, 63(1): 291-297.
- 3) 松嶋哲哉：透析患者における運動。大阪透析研究会会誌, 2013, 31(1): 75-78.
- 4) 酒井友哉, 鈴木美帆, 佐藤友穂・他：外来血液透析患者におけるサルコペニアの頻度と栄養摂取量の比較。日本血液浄化技術学会雑誌, 2015, 23(2): 302-304.
- 5) 矢部広樹, 西田裕介：自転車エルゴメータによる回転数の違いが生体の酸素供給系と代謝需要系へ与える影響。理学療法科学, 2009, 24(4): 617-624.
- 6) 野口雅弘, 佐々木賢太郎：臥位エルゴメータ運動における負荷方法の違いによる呼吸循環反応および下肢筋活動への影響。第 51 回日本理学療法学会大会抄録集, 2016, 札幌。

- O-KS-14-1.
- 7) 野原隆司, 安達 仁, 石原俊一・他: 心血管疾患におけるリハビリテーションに関するガイドライン (2012年改訂版). http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2012_nohara_h.pdf (閲覧日 2014年5月1日).
 - 8) Allen K, Anderson M, Balady G, et al.: Kidney disease. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, 9th ed. In: Riebe D, et al.(eds), Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2013, pp305-308.
 - 9) 日本糖尿病学会 (編): 科学的根拠に基づく糖尿病診療ガイドライン 2013, 南江堂, 東京, 2013, pp97-113.
 - 10) 秋葉 隆: 透析患者の予後を規定する因子—透析の質と量の決定因子と予後との関係. 医学のあゆみ, 2005, 214(13): 1037-1042.
 - 11) 山科 章, 荻尾七臣, 小原克彦・他: 循環器病の診断と治療に関するガイドライン 2013 血管機能の非侵襲的評価法に関するガイドライン. http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2013_yamashina_d.pdf (閲覧日 2016年7月25日).
 - 12) Kim EY, Yi JH, Han SW, et al.: Clinical factors associated with brachial-ankle pulse wave velocity in patients on maintenance hemodialysis. Electrolyte Blood Press, 2008, 6(2): 61-67.
 - 13) Storer TW, Casaburi R, Sawelson S, et al.: Endurance exercise training during haemodialysis improves strength, power, fatigability and physical performance in maintenance haemodialysis patients. Nephrol Dial Transplant, 2005, 20(7): 1429-1437.
 - 14) Endes S, Schaffner E, Caviezel S, et al.: Long-term physical activity is associated with reduced arterial stiffness in older adults: Longitudinal results of the SAPALDIA cohort study. Age Ageing, 2016, 45(1): 110-115.
 - 15) Headley S, Germain M, Wood R, et al.: Short-term aerobic exercise and vascular function in CKD stage 3: A randomized controlled trial. Am J Kidney Dis, 2014, 64(2): 222-229.
 - 16) Koh KP, Fassett RG, Sharman JE, et al.: Effect of intradialytic versus home-based aerobic exercise training on physical function and vascular parameters in hemodialysis patients: A randomized pilot study. Am J Kidney Dis, 2010, 55(1): 88-99.
 - 17) Kato A: Arterial stiffening and clinical outcomes in dialysis patients. Pulse (Basel), 2015, 3(2): 89-97.
 - 18) 高橋伯夫, 正木浩哉, 西村真人: 慢性血液透析患者の血圧変動とその病態解析. 臨床病理, 2001, 49(3): 239-243.
 - 19) 日本脈管学会 (編): 下肢閉塞性動脈硬化症の診断・治療指針Ⅱ. メディカルトリビューン, 東京, 2007, pp37-49.
 - 20) Chen LK, Liu LK, Woo J, et al.: Sarcopenia in Asia: Consensus report of the Asian working group for sarcopenia. J Am Med Dir Assoc, 2014, 15(2): 95-101.