血液透析施行中の血圧変動と二次微分脈波の波形変化

鈴木 尚紀¹ 水野(松本)由子² 川崎 由記¹ 橘 銀平¹
押川 千穂¹ 蓮池 由起子³ 中西 健³

¹兵庫医科大学病院臨床工学室 ²兵庫県立大学大学院応用情報科学研究科

³兵庫医科大学内科学腎・透析科

キーワード：透析低血圧，二次微分脈波，血液透析，循環血液量，動脈硬化

〈要旨〉

本検討は，HD 施行前の SDPTG 波形パターンの違いによる患者因子の特徴と，HD 施行中に反復測定した SDPTG 波形と血圧との関連性について検討した。HD 患者 81 名を対象とした。二次微分脈波の波形より正常型（Ⅰ型）と異常型（Ⅱ型）に，さらにⅡ型を，心拍出量と関連するとされる c 波の有無よりⅡ-a 型とⅡ-b 型に分けた。HD 施行前の SDPTG がⅡ型波形を示す患者では，Ⅰ型波形患者に比較して血管石灰化や PAD の合併率が高かった。HD 施行中の血圧は，Ⅰ型に比較してⅡ-a 型で有意に低く，Ⅱ-a 型に比較してⅡ-b 型で有意に低値を示した。血圧低下発生率は，Ⅰ型群で 4.7%，Ⅱ-a 型群で 15.8%，Ⅱ-b 型で 40.7% であった。HD 施行中の SDPTG 波形はさまざまに変化し，血圧低下発生と関連することが示唆された。HD 施行中の SDPTG 波形によって，血圧低下発生を発見できる可能性が考えられる。

The relationship between intradialytic hypotension and the second-order derivative of plethysmogram

Naoki Suzuki¹, Yuko Mizuno-Matsumoto², Yuki Kawasaki¹, Ginpei Tachibana¹, Chiho Oshikawa¹, Yukiko Hasuie³, Takeshi Nakanishi³

¹The Hospital of Hyogo College of Medicine, Division of Clinical Engineering, ²Graduate School of Applied Informatics, University of Hyogo, ³Division of Kidney and Dialysis, Department of Internal Medicine, Hyogo College of Medicine

Key words : intradialytic hypotension, second-order derivative of plethysmogram, hemodialysis, blood volume, atherosclerosis

〈Abstract〉

【Background】 Intradialytic hypotension is associated with a risk of mortality in patients undergoing hemodialysis. The second-order derivative of plethysmogram (SDPTG) is a sensing tool that monitors cardiac functions such as cardiac output and peripheral vascular resistance. In the present study, the relationship between hypotension and the SDPTG waveform during dialysis was investigated. 【Method】 Eighty-one patients undergoing hemodialysis were investigated in this study. Blood pressure (BP), SDPTG, and the changing rate of blood volume (Δ BPV) were measured in pre-, intra-, and post-hemodialysis sessions. Hypotension was defined as a >40 mmHg decrease in systolic BP. The waveform of SDPTG consists of the a, b, c, and d waves in systole and the e wave in diastole. We categorized the waveform by the height of the waves : the c wave was higher than the d wave (type I), the c wave was lower than the d wave (type II-a), and the c wave disappeared from the waveform (type II-b). Logistic regression analysis was used to assess the effect on hypotension of the SDPTG waveform during hemodialysis. 【Result】 Hypotension occurred 33 times among the 360 BP measurements in intra-hemodialysis. The BPs of the type II-a and II-b groups were significantly lower than that of the type I group. The type II-b group showed significantly lower BP than the type II-a group. The occurrence rates of IDH were

4.7% (reference), 15.8% (odds ratio (OR) 3.03; 95% confidence interval (CI) 1.1 to 7.9), and 40.7% (OR 9.5; 95% CI 3.3 to 27.1) in the type I, II-a, and II-b groups, respectively. 【Conclusion】 The changes in waveform on SDPTG were associated with BP variations during a dialysis session. These results suggest that SDPTG is useful as an indicator of intradialytic hypotension.

I. 緒言・目的

血液透析 (hemodialysis: HD) 施行中の急激な低血圧 (透析時低血圧) は最も頻度が高い合併症のひとつであり, HD の継続を困難にするだけでなく, HD 患者の日常生活動作や生活の質を著しく低下させる. Shoji ら¹⁾は, HD 施行中の収縮期血圧 40 mmHg 以上の低下は2年間の死亡率に対するリスクの増加と関連すると報告した. また, 透析時低血圧はバスキュラーアクセス (VA) における血栓形成や脳梗塞にも関連し, さまざまな合併症の原因となる^{2,3)}.

生体における血圧は, 心拍出量と末梢血管抵抗のバランスによって維持される. 脈波 (plethysmogram: PTG) は心拍出量や血管状態によって変化する波形であり, HD 施行中において多様に変化する. また, PTG を二次微分して得られる二次微分脈波 (second derivative of plethysmogram: SDPTG) は, その変曲点を明瞭にし, 呼吸変動などによる基線の動揺の影響を排除できることから, PTG を代用する簡易指標とされている⁴⁾.

PTG と SDPTG との関係を図1に示す. PTG は主に収縮期前方成分と, 後方成分とに分けられ, SDPTG において収縮期前方成分はa波およびb波, 収縮期後方成分はc波およびd波に相当する⁵⁾. SDPTG の各パラメータは末梢循環動態と関連し, c/a は一回心拍出量と⁶⁾, d/a は末梢血管抵抗との関連^{7,8)}が報告されている. また, 佐野ら⁴⁾は, SDPTG を代表的な7波形に分類し, 加齢変化に伴い波形が変化することを報告した.

本研究において測定されたHD患者のSDPTGは, 佐野らの波形分類に該当しない異常波形が一部に認められた. そこでわれわれは, HD患者におけるSDPTG波形を, 従来報告されてきた正常型と, 本研究において認められた異常型波形とに分類し, HD施行前のSDPTG波形パターンの違いによる患者因子の特徴と, HD施行中に反復測定したSDPTG波形と血圧との関連性について検討した.

図1 容積脈波と二次微分脈波との対応
PTG: 容積脈波, SDPTG: 二次微分脈波

II. 対象と方法

1. 対象

対象は2012年11月から2013年8月の調査期間中にHDを施行した末期腎不全患者81名とした. なお, 本研究は, 兵庫医科大学倫理委員会の承認 (第1456号) を得ており, 事前に患者に対し十分な説明を行い, 文書による同意を得て施行された.

2. 測定・調査項目

患者因子として, 性別および年齢, ドライウェイト, 心駆出率, 透析期間, 心胸比, ヘマトクリット (Ht), HD施行前血圧, 脈拍を調査した. 血管障害に関連する合併症として, 糖尿病 (diabetes mellitus: DM) や血管石灰化, 末梢動脈疾患 (peripheral arterial disease: PAD) の有無を調査した. 血管石灰化の有無については, 胸腹部CT画像または胸部X線画像より, 大動脈に石灰化が確認された患者を血管石灰化有りとした. 透析条件として, 血流量, 透析時間, 除水量を調査した. 循環動態の指標として血圧 (収縮期, 拡張期, 平均) および循環血液量の変化率 (Δ BV) を測定した.

3. 測定方法

測定間隔を図2に示す. HD開始前, 5分後, 60分後, 120分後, 180分後, 240分後, 回収後に, それぞれSDPTGおよび血圧を測定した. SDPTGはVA肢反対側の第二指にプローブを装着し, 100拍における

図2 測定間隔

SDPTG：二次微分脈波，HD：血液透析，BP：血圧， Δ BV：循環血流量の変化率

図3 SDPTG波形の分類方法
SDPTG：二次微分脈波

a波，b波，c波，d波，e波の平均波高値をそれぞれ算出した。血圧はVA肢反対側の上腕で測定した。 Δ BVはHD施行5分後を0%として連続的に測定し，血圧およびSDPTGの測定と同時に記録した。SDPTGの測定にはアルテットCDN[®]（U-Medica社製）， Δ BVの測定にはクリットラインモニタ[®]（JMS社製）を用いた。

HD施行中，HD前に比較し，一度でも40 mmHg以上の収縮期血圧の低下を認めた群を透析時低血圧群とした。一度も認められなかった群を透析時血圧不変群とした。透析時低血圧群の中で，HD開始前，5分後，60分後，120分後，180分後，240分後，回収後のそれぞれの時点において，HD施行前よりも収縮期血圧が40 mmHg以上低下した時点を血圧低下発生とした。

4. SDPTGの波形分類

本研究では新たにSDPTGの波形分類を作成した。SDPTGの波形分類方法を図3に示す。本研究では，c波の波高値がd波よりも高い波形を正常型（I型）波形，それ以外を異常型（II型）とした。II型については，c波の波高値がd波よりも低値である波形をII-a型，c波が消失した波形をII-b型とした。

5. 検討方法

1) 患者背景因子の特徴

透析時低血圧と患者背景因子との関連性を検討するため，透析時低血圧群と透析時血圧不変群とに群分けし，患者因子および合併症，HD条件を比較した。統計解析にはMann-Whitney U testまたはchi-square-testを用いた。

また，HD施行前のSDPTG波形と患者背景因子との関連性を検討するため，HD施行前のSDPTG波形をI型とII型に群分けし，患者因子および合併症を比較した。

2) HD施行中におけるSDPTG波形と血圧および Δ BVとの関連性

HD施行中の血圧とSDPTG波形の関連性を検討するため，HD開始5分後，60分後，120分後，180分後，240分後のSDPTGの各パラメータ（b/a，c/a，d/a，e/a）と血圧および Δ BVとの関連を相関解析によって検討した。

また，各測定ポイントにおけるSDPTG波形をI型，II-a型，II-b型に群分けし，それぞれの波形を示した際の血圧および Δ BVについて，Tukey-Kramer法およびBonferroni法で補正したWilcoxon single rank testを用いて群間比較を行った。

3) HD施行中における血圧低下発生とSDPTG波形の関連性

HD施行中の血圧低下発生と，血圧低下発生時点におけるSDPTG波形との関連性を検討するため，HD開始5分後，60分後，120分後，180分後，240分後における血圧低下発生に対する各SDPTG波形のオッズ比および95%信頼区間（95%CI）を多変量ロジスティック回帰によって算出した。多変量ロジスティック回帰モデルにおける調整因子には，時間とともに変動し，HD施行中の血圧低下と関連する Δ BVを選択した。 Δ BVは-10%未満，-10%以上-5%未満，-5%以上0%未満，0%以上5%未満にコード化した。

表 1 透析時低血圧による患者背景因子の特徴

	透析時低血圧群 (N = 13)	透析時血圧不変群 (N = 68)	p value
患者因子			
年齢 (歳)	70.0 (64.0-82.0)	69.0 (61.0-74.3)	n. s.
男性/女性	8/5	50/18	n. s.
ドライウェイト (kg)	55.0 (50.6-56.7)	54.5 (44.2-59.9)	n. s.
心胸比 (%)	54.5 (53.5-57.5)	53.0 (49.0-58.0)	n. s.
透析歴 (月)	70.0 (40.0-148.0)	45.0 (1.9-120.0)	n. s.
心駆出率 (%)	66.0 (53.0-83.0)	65.0 (56.3-70.0)	n. s.
HD 施行前血圧 (mmHg)			
収縮期	153.0 (142.0-167.0)	141.0 (126.8-163.5)	n. s.
拡張期	70.3 ± 12.1	71.0 (64.0-86.5)	n. s.
平均	71.0 (71.0-107.4)	94.4 (84.2-111.3)	n. s.
脈拍 (bpm)	79.0 (78.0-89.0)	75.0 (65.3-88.0)	n. s.
合併症			
DM	10 (76.9%)	25 (26.8%)	<0.05
血管石灰化	12 (92.3%)	42 (61.8%)	<0.05
PAD	3 (21.0%)	14 (20.6%)	n. s.
透析条件			
透析時間 (時間)	4.0 (4.0-4.0)	4.0 (3.0-4.0)	n. s.
血液流量 (mL/min)	200 (150-200)	200 (150-200)	n. s.
除水量 (mL)	1,960 (1,600-2,300)	1,700 (1,200-2,200)	n. s.

中央値 (四分位範囲)

HD：血液透析，DM：糖尿病，PAD：末梢動脈疾患

表 2 HD 施行前における SDPTG 波形による患者因子の特徴

	全患者 (N = 81)	I 型波形患者 (N = 69)	II 型波形患者 (N = 12)	p value
患者因子				
年齢 (歳)	69.0 (60.0-76.0)	69.0 (60.0-77.0)	69.5 (61.0-73.0)	n. s.
男性/女性	48/33	39/30	9/3	n. s.
ドライウェイト (kg)	54.8 (47.1-60.9)	54.3 (46.1-60.4)	56.4 (51.6-65.9)	n. s.
心胸比 (%)	54.0 (49.0-58.0)	54.0 (49.0-58.0)	55.5 (49.8-57.5)	n. s.
透析歴 (月)	28.0 (3.0-88.5)	25.0 (1.4-82.0)	44.0 (12.0-148.0)	n. s.
心駆出率 (%)	65.0 (53.0-70.0)	65.0 (53.0-74.1)	58.0 (45.0-72.0)	n. s.
HD 施行前血圧 (mmHg)				
収縮期	144.0 (126.5-165.0)	144.0 (129.5-166.0)	129.5 (113.25-155.0)	n. s.
拡張期	72.0 (65.0-86.0)	74.0 (66.0-86.0)	68.0 (54.8-101.3)	n. s.
平均	97.0 (86.2-111.4)	98.3 (87.9-112.0)	91.2 (75.2-104.9)	n. s.
脈拍 (bpm)	80.0 (70.0-89.0)	80.0 (70.0-88.5)	83.0 (67.8-91.3)	n. s.
合併症				
DM	30 (37.0%)	24 (34.8%)	6 (50.0%)	n. s.
血管石灰化	50 (61.7%)	38 (55.1%)	12 (100.0%)	<0.01
PAD	21 (25.9%)	15 (21.7%)	6 (50%)	<0.05

中央値 (四分位範囲)

HD：血液透析，DM：糖尿病，PAD：末梢動脈疾患，SDPTG：二次微分脈波

Ⅲ. 結 果

1. 患者背景因子の特徴

透析時低血圧による患者背景因子の特徴を表 1 に示す。透析時低血圧群は対象患者 81 名中 13 名であった。透析時低血圧群では透析時血圧不変群に比較して DM の合併率，血管石灰化の合併率が有意に高値であった。

HD 施行前の SDPTG 波形による患者背景因子の比較結果を表 2 に示す。HD 施行前の SDPTG は，I 型群が 69 名，II 型群が 12 名であった。II 型群では，すべての患者に血管石灰化病変，50% の患者に PAD が

認められ，それらの合併率は I 型群に比較して有意に高かった。

2. HD 施行中における SDPTG 波形と血圧および Δ BV との関連性

HD 施行中における SDPTG の b/a，c/a，d/a，e/a の平均値はそれぞれ， -0.51 ± 0.27 ， -0.10 ± 0.16 ， -0.36 ± 0.20 ， 0.13 ± 0.87 であった。HD 施行中における SDPTG の各パラメータと血圧および Δ BV との相関解析結果を表 3 に示す。HD 施行中の b/a および c/a は血圧との間に有意な正の相関が認められた。d/a および e/a と血圧との間には負の相関が認められたが，相関係数は低値を示した。SDPTG の各パラメー

表 3 HD 施行中における SDPTG のパラメータと血圧および ΔBV との関連

SDPTG		収縮期血圧			拡張期血圧			平均血圧			ΔBV		
パラメータ	n	R	RMSE	p value	R	RMSE	p value	R	RMSE	p value	R	RMSE	p value
b/a	360	0.43	24.18	<0.01	0.44	16.34	<0.01	0.44	16.34	<0.01	0.03	4.27	n. s.
c/a	333	0.40	23.07	<0.01	0.41	15.40	<0.01	0.44	13.64	<0.01	-0.09	4.28	n. s.
d/a	360	-0.17	26.42	<0.01	-0.18	17.88	<0.01	-0.19	17.88	<0.01	-0.02	4.27	n. s.
e/a	360	-0.08	26.73	n. s.	-0.09	18.12	<0.05	-0.09	18.11	<0.05	0.05	4.28	n. s.

c/a は c 波が消失した II-b 型波形 (n=27) を欠測値とした。

HD：血液透析，SDPTG：二次微分脈波，R：相関係数，RMSE：root-mean-square error；誤差標準偏差

図 4 HD 施行中の SDPTG 波形と血圧
HD：血液透析，SDPTG：二次微分脈波

図 5 HD 施行中の SDPTG 波形と ΔBV
HD：血液透析，SDPTG：二次微分脈波， ΔBV ：循環血液量の変化率

と ΔBV との間には相関関係は認められなかった。

I 型，II-a 型，II-b 型波形間における HD 施行中の血圧を図 4 に示す。SDPTG および血圧の測定回数は 360 回であった。そのうち，I 型波形は 75.9%，II-a 型波形は 15.9%，II-b 型波形は 8.0% に認められた。HD 施行中，II-a 型と II-b 型波形を示した場合の血圧は，I 型波形を示した場合の血圧に比較して有意に低値であった。さらに，II-b 型波形を示した場合の血圧は，II-a 型波形を示した場合に比較して有意に低値であった。I 型，II-a 型，II-b 型波形間の ΔBV を図 5 に示す。II-b 型波形を示した場合の ΔBV は I 型波形

を示した場合に比較して有意に低値であった。

3. HD 施行中における血圧低下発生と SDPTG 波形の関連性

HD 開始 5 分後，60 分後，120 分後，180 分後，240 分後のそれぞれの時点における血圧低下発生回数は 33 回 (9.2%) であった。HD 施行中の血圧低下発生に対する SDPTG 波形の多変量ロジスティック回帰分析結果を表 3 に示す。HD 施行中における血圧低下発生率は，I 型波形で 4.7% (11/274 回)，II-a 型波形で 15.8% (9/56 回)，II-b 型波形で 40.7% (13/27 回) であった。血圧低下発生に対する調整済みオッズ比は，

表 4 HD 施行中における血圧低下発生に対する SDPTG 波形のオッズ比

	OR (95%CI)	p value	調整済 OR (95%CI)	p value
SDPTG				
I 型	Reference	—	Reference	
II-a 型	4.1 (1.6-10.2)	<0.01	3.03 (1.1-7.9)	<0.05
II-b 型	15.0 (5.7-39.7)	<0.01	9.5 (3.3-27.1)	<0.01
ΔBV (5%減少)	—	—	3.02 (1.9-5.1)	<0.01

HD：血液透析，OR：オッズ比，95%CI：95%信頼区間，SDPTG：二次微分脈波，ΔBV：循環血流量の変化率

I 型波形を基準としたとき，II-a 型波形では 3.03 (95%CI: 1.1-7.9)，II-b 型波形では 9.5 (95%CI: 3.3-27.1) であった。また ΔBV は 5%減少するにしたがって，血圧低下に対する OR が 3.02 (95%CI: 1.9-5.1) 増加する結果となった。

IV. 考 察

1. HD 患者における SDPTG 波形の特徴

HD 施行前の SDPTG が II 型波形を示す患者では，I 型波形患者に比較して血管石灰化や PAD の合併率が高く，SDPTG 波形と動脈硬化疾患とが関連することが示唆された。佐野ら⁴⁾は，健康者から中高年者を対象とした検討によって SDPTG 波形を 7 波形に分類した。そのすべての波形において c 波高値が d 波高値よりも高い結果であったが，本研究では c 波高値が d 波高値よりも低いか，c 波が消失した異常型の II 型波形が認められた。SDPTG における c 波，d 波は，PTG において末梢血管による反射波成分である収縮後期隆起に相当する。動脈硬化の進行した患者では末梢血管の収縮・拡張機能が障害されているため⁹⁾，PTG における収縮後期隆起が不明瞭になり，SDPTG における II 型波形を示したと考えられた。

2. HD 施行中における SDPTG 波形と血圧との関連性

HD 施行中，血圧は，I 型波形に比較して II-a 型波形を示した場合に低値を示し，II-a 型波形に比較して II-b 型波形を示した場合に低値を示した。また SDPTG における c/a と血圧との間に有意な正の相関，d/a と血圧の有意な負の相関が認められた。先行研究では SDPTG における c 波と一回心拍出量との間に正の相関関係があることや⁶⁾，血管拡張薬投与によって d/a が上昇，アンジオテンシンの投与によって d/a が低下することが報告されている^{10,11)}。また，SDPTG の c 波成分である PTG の収縮後期隆起は，低心拍出量状態で小さくなり，ときに消失することが報告されている¹²⁾。これらから，SDPTG 波形は心拍出量や血管の機能的緊張の変化を表現するため，SDPTG 波形と血

圧との関連が認められたと考えられる。

HD 施行中の血圧低下発生に対しては，SDPTG 波形の調整済み OR が I 型波形に比較して II-a 型波形，II-b 型波形で有意に高値であった。この結果より，SDPTG 波形と HD 施行中の血圧低下発生との間には，ΔBV とは独立した関連性があることが示唆された。また II-b 型波形を示した際の ΔBV は I 型波形に比較して有意に低値を示したことから，HD 施行中の II-a 型 (c 波低下)，II-b 型波形 (c 波消失) は，一回心拍出量と末梢血管抵抗のバランスが崩れた状態を示していたと推測される。特に，II-b 型波形は一回心拍出量の低下が著しい状態であったと考えられる。

3. SDPTG 測定における臨床的意義と可能性

透析時低血圧の原因として，DM 患者に認められる自律神経障害や動脈硬化の進展による血管反応性の低下¹³⁾，ΔBV の低下や心機能低下による心拍出量の減少が考えられている⁸⁾。本研究においても，透析時低血圧群では，DM 患者や血管石灰化患者の割合が高いことや，ΔBV が 5%低下するに従い血圧低下発生に対する OR が上昇することが示唆された。これらの結果からも，血管反応性と心拍出量とが透析時低血圧と関連していることがわかる。従って，HD 施行中の血圧変動を予測するためには，これらの指標を同時にモニタリングする必要がある。SDPTG は心拍出量や末梢血管反応，血管壁の器質的硬化の影響を受け変化する波形であることから，血圧変動の指標として応用できる可能性がある。また，SDPTG は非侵襲的かつ連続的に測定することが可能であり，SDPTG をリアルタイムに解析することができれば，HD 施行中の I 型波形から II-a 型波形への変化や II-b 型波形への変化といった現象をイベントとして捉えることで，その時点における血圧低下発生を発見できる可能性が考えられる。

4. 本研究の限界

本研究における血圧低下発生に対する SDPTG 波形の多変量ロジスティック回帰では，過剰適合の可能性を除外するために，調整因子を ΔBV のみとした。HD 中の血圧低下に関連する因子としては，ほかにも DM

や血管石灰化の有無，除水量が考えられる．除水量に関しては， ΔBV との負の線形相関が認められたため，多重共線性ありとして調整因子から除外した．除水量は一般的に透析時の血圧と関連することが知られているが，本研究では透析時低血圧群と透析時血圧不変群とでは有意な差は認められなかった．

また，本研究では SDPTG と血圧とを同時に測定したため，血圧低下の前に SDPTG が変化するのか，血圧低下が発生したために SDPTG 波形が変化しているのかということを明らかにすることができなかった．今後さらなる検討を行い，SDPTG 波形変化による血圧低下の予測指標としての妥当性を明らかにする必要がある．

結 論

HD 施行前の SDPTG が II 型波形を示した患者では，血管石灰化や PAD の合併率が高いことが示唆された．また HD 施行中の SDPTG 波形はさまざまに変化し，血圧低下発生と関連することが示唆された．HD 施行中の SDPTG 波形によって，血圧低下発生を発見できる可能性が考えられる．

文献

- 1) Shoji T, Tsubakihara Y, Fujii M, Imai E. Hemodialysis-associated hypotension as an independent risk factor for two-year mortality in hemodialysis patients. *Kidney Int* 2004; 66: 1212-20.
- 2) Chang TL, Paik J, Greene T, et al. Intradialytic hypotension and vascular access thrombosis. *J Am Soc Nephrol* 2011; 22: 1526-33.
- 3) Ishida I, Hirakata H, Sugimori H, et al. Hemodialysis causes severe orthostatic reduction in cerebral blood flow velocity in diabetic patients. *Am J Kidney Dis* 1999; 34: 1096-104.
- 4) 佐野祐司，片岡幸雄，生山匡，他．加速度脈波による血液循環の評価とその応用．*労働科学* 1985; 61: 129-43.
- 5) 池谷俊朗，高沢謙二，山科晃．高血圧による動脈硬化度を評価する指尖容積脈波（加速度脈波）．*血圧* 2003; 10: 1347-86.
- 6) 鈴木明祐，山川和樹，藤沼秀光，須藤秀明，小川研一．弾性動脈の伸展度（Distensibility）と，加速度脈波との関係についての検討（完全房室ブロック患者の VVI ペーシング時の特徴的循環動態を用いて）．*日臨生理会誌* 1990; 20: 113-23.
- 7) 高沢謙二，伊吹山千晴．加速度脈波の有用性．*臨検* 1989; 33: 858-62.
- 8) 山本壱弥，小林直之，松永篤彦，他．維持血液透析時に認められる過剰な血圧低下の出現機序に関する検討．*透析会誌* 2007; 40: 894-906.
- 9) 高沢謙二．大動脈硬化と末梢循環について—Augmentation Index (AI) —．*Cardiac Practice* 1996; 7: 21-6.
- 10) Takazawa K, Tanaka N, Fujita M, et al. Assessment of vasoactive agents and vascular aging by the second derivative of photoplethysmogram waveform. *Hypertension* 1998; 32: 365-70.
- 11) 鷺野嘉映，高田晴子，岩田弘敏．加速度脈波波形に及ぼすニトログリセリン負荷，寒冷負荷，及び起立負荷の影響．*日臨生理会誌* 1996; 26: 145-53.
- 12) 増田善昭，金井寛．脈波波形．動脈脈波の基礎と臨床．東京：共立出版，2000; 9-14.
- 13) Hirakata H, Nitta K, Inaba M, et al. Japanese Society for Dialysis Therapy. Japanese Society for Dialysis Therapy guidelines for management of cardiovascular diseases in patients on chronic hemodialysis. *Ther Apher Dial* 2012; 16: 387-435.