血液透析患者における PainVision® PS-2100 を用いた 電流知覚閾値 (CPT) の検討

合 田 朋 仁¹ 岡 寛² 後 藤 博 道^{1,3} 佐 藤 倫 子¹
谷 本 光 生¹ 井 尾 浩 章¹ 清 水 芳 男¹ 濱 田 千 江 子¹
堀 越 哲¹ 富 野 康 日 己¹

順天堂大学医学部腎臓内科学講座¹ 聖マリアンナ医科大学難治研センター²
埼玉草加病院³

キーワード：血液透析，末梢神経障害，電流知覚閾値，PainVision® PS-2100

〈要旨〉

目的：血液透析患者における知覚神経障害を早期発見するため，PainVision® PS-2100 を用い電流知覚閾値 (current perception threshold : CPT) を測定した。対象および方法：対象患者は，順天堂大学医学部附属順天堂医院に通院している維持透析患者 61 名 (男 36 名，女 25 名) と健常人 112 名 (男 52 名，女 60 名) である。透析患者に関しては，血液透析開始前と後に CPT を測定した。結果：健常人と透析患者における CPT の比較では，CPT が最も低い血液透析後の非シャント側でさえ，透析患者の方が健常人と比較して CPT は有意に高値であった。血液透析前における CPT は，シャント側では非シャント側と比較して有意に高値であった。男女における CPT の比較では，男性の方が女性と比較して CPT は有意に高値であった。血液透析前後における CPT の比較では，血液透析前と比較して後では CPT は有意に低下した。糖尿病患者と非糖尿病患者における CPT の比較では，両群間において CPT に有意な差はみられなかった。年齢，性，腎不全の有無は，CPT の独立した規定因子であった。結論：血液透析患者における知覚神経障害を早期に発見するために，PainVision® PS-2100 を用い，定期的に CPT を測定することは有用であると考えられる。

Analysis of current perception threshold (CPT) using PainVision® PS-2100 in hemodialysis patients

Tomohito Gohda¹, Hiroshi Oka², Hiromichi Gotoh^{1,3}, Michiko Sato¹, Mitsuo Tanimoto¹, Hiroaki Io¹, Yoshio Shimizu¹, Chieko Hamada¹, Satoshi Horikoshi¹ and Yasuhiko Tomino¹

Division of Nephrology, Department of Internal Medicine, Juntendo University School of Medicine¹; Institute of Medical Science, St. Marianna University School of Medicine²; Saiyu Soka Hospital³

Key words : hemodialysis (HD), peripheral neuropathy, current perception threshold (CPT), PainVision® PS-2100
< Abstract >

Purpose : To evaluate the usefulness of PainVision® PS-2100 as an indicator of sensory nerve dysfunction, the current perception threshold (CPT) was examined in hemodialysis (HD) patients. Patients and Methods : HD patients at Juntendo University were recruited in this study and 61 HD patients (male 36/female 25) and 112 normal controls (male 52/female 60) were enrolled. CPT was evaluated before and after HD therapy. Results : The CPT levels in HD patients were significantly higher than those in normal controls. Before HD therapy, CPT levels in the hand in which arteriovenous fistula was created (shunt side) were significantly higher compared with those in the opposite hand (non-shunt side) (pre HD ; shunt side : $14.7 \pm 5.8 \mu\text{A}$, non-shunt side : $12.3 \pm 4.4 \mu\text{A}$, $p < 0.0001$). The CPT levels before HD therapy both on the shunt and non-shunt side of male patients were significantly higher than those in female patients (shunt side ; male $16.6 \pm 6.1 \mu\text{A}$, female $12.0 \pm 4.1 \mu\text{A}$,

$p < 0.002$, non-shunt side ; male $13.4 \pm 4.5 \mu A$, female $10.7 \pm 3.7 \mu A$, $p < 0.02$). The CPT levels after HD therapy were significantly decreased both on the shunt and non-shunt side (shunt side, pre HD : $14.7 \pm 5.8 \mu A$, post HD : $13.4 \pm 6.5 \mu A$, $p = 0.04$, non-shunt side, pre HD : $12.3 \pm 4.4 \mu A$, post HD $10.6 \pm 3.2 \mu A$, $p < 0.002$) than those before HD therapy. Before HD therapy, there was no significant difference in the CPT level on either the shunt or non-shunt side on a comparison between diabetic and non diabetic patients. Age, gender and presence of chronic renal failure were identified as independent risk factors for CPT levels on multivariate regression analysis. Conclusion : It appeared that measuring CPT level regularly using PainVision® PS-2100 would be useful to detect the early stage of sensory nerve dysfunction.

緒 言

末期腎不全では末梢神経系である知覚神経、運動神経、自律神経のすべての神経が障害を受ける。特に、障害は神経線維の細い知覚神経と自律神経におこりやすいとされている。その臨床診断には腱反射の消失、振動覚の低下、神経伝導速度の低下などで行われている。しかしながら、知覚鈍麻や温痛覚などの小神経を司る知覚機能障害を診断するには適した検査方法は少ない。そのため知覚機能障害の評価には、Neurometer® CPT (Neurotron Inc., Denver, CO, USA)¹⁾を用い、電流知覚閾値 (current perception threshold : CPT) が測定されていた。Neurometer® CPT は、正弦波電気刺激を経皮的に与えることにより知覚神経の閾値を評価する検査方法である。神経線維は、① 触覚や圧覚を伝える $A\beta$ 線維、② 温度覚 (冷)、瞬間的な痛み (一次疼痛)、鋭痛を伝える $A\delta$ 線維、③ 温度覚 (温・冷)、長く焼け付くような痛み感覚 (二次疼痛)、鈍痛を伝える C 線維の 3 種類がある。不応期の違いから、各々の最適刺激周波数が異なり、5 Hz では無髄線維 (C 線維)、250 Hz では神経伝導速度で測定されない中径有髄線維 ($A\delta$ 線維)、2,000 Hz では神経伝導速度や腱反射所見に対応する大径有髄線維 ($A\beta$ 線維) を選択的に刺激することにより測定可能である。

今回、われわれが検討に用いた装置は、2006 年 8 月に医療機器として承認された知覚・痛覚定量分析装置 (PainVision® PS-2100, ニプロ株式会社, 東京)^{2,3)}である。この機器は、約 3 分という短時間で測定できることに加えて、痛みを伴いにくい独自の波形と周波数の電流で測定することにより、不快な痛みを伝える C 線維をほとんど刺激しないために、患者に痛みを与えることなく測定できる利点がある。

一般に知覚神経障害が進行すると運動神経障害を併発することがあり、筋力低下、筋萎縮、足の変形などがみられる。神経の変性が高度になると、治療しても十分に機能が回復しない場合も多く、透析患者とくに

糖尿病では血管障害を併発することが多く足潰瘍・切断を必要とする場合も多いため、CPT の測定により知覚神経障害を早期に診断し重症度を評価することは重要である⁴⁾。一般に糖尿病や尿毒症の末梢神経障害は下肢から始まるため、測定に際しては下肢での測定が推奨されるが、透析患者のシャント側と非シャント側で CPT に違いがあるか否か検討を行うために、本研究では上肢で測定を行った。

I. 対象および方法

順天堂大学医学部附属順天堂医院人工腎臓室に通院している維持血液透析患者のうち、参加への文書での同意が得られた 61 名 (男 36 名, 女 25 名) とニプロ株式会社に勤務あるいは老人ホームに入所している健常人 112 名 (男 52 名, 女 60 名) を対象とした。

血液透析患者に関しては、透析開始前と後に Pain-Vision® PS-2100 を用いて CPT を測定した (図 1)。また、臨床指標として血清 Ca は、Payne の式⁵⁾ [血清アルブミン (Alb) < 4.0 g/dL の患者でのみ補正した。補正 Ca = 血清 Ca + (4 - 血清 Alb)] を用いた血清補正カルシウム (Ca)、血清リン (P)・インタクト PTH (iPTH) およびビタミン B₁₂ (VitB₁₂) および終末糖化産物 (AGEs : advanced glycation endproducts) を測定した。

なお、本研究は順天堂大学の倫理委員会で承認され、患者から文書による同意を得て行った。

II. 電流知覚閾値 (CPT) の測定方法

1. 刺激電流と測定部位

刺激電流はパルス状電流 (50 Hz, 0~150 μA rms, パルス幅 0.3ms) である。矩形部分は、その周期から $A\beta$ および $A\delta$ 線維の刺激に対応し、先端の鋭い三角波は、 $A\beta$ 線維を効率よく刺激する。測定部位としては、① 平坦である、② 体毛が比較的少ない、③ 刺激による筋収縮がおこらない、④ 汗腺が少ないことが要求

図 1 PainVision® PS-2100 を用いた測定様子
アルコール綿などで前腕内側を清拭したあとに電極を装着し、刺激を感じた時点でスイッチを押す。

されることから、本研究では前腕内側（尺側）部を選択した。

2. 測定手順

皮膚表面の汚れや皮脂分をアルコール綿で拭き取り、前腕内側部にディスプレイ電極を装着する。患者にハンドスイッチを握らせ、本体のスタートボタンを押す。微弱な電流が少しずつ大きくなり、患者が刺激を感じた時にハンドスイッチの停止ボタンを押させる。これを3回繰り返し、平均値よりCPTを算出した。

3. 測定値の再現性

健常人、延べ260人分の各測定日における5回の測定データにばらつきがあるかどうか検討をしたところ、変動係数（＝標準偏差/平均値）の最大値は0.254であった。全体的には1回目の測定値が高値で、2回目は低値である場合が多く、3回目以降は変動が少ないことが分かった。そこで2回目以降の変動係数を求めると最大値は0.195、3回目以降の変動係数の最大値は0.168であった。したがって再現性を高めるには、5回測定した場合には、その内の3回目（または2回目）以降のデータを使用するのがよいと考えられた。本試験では、1回目は練習を行い2回目から測定した3回の平均値を採用した。

Ⅲ. 解析方法

統計解析にはStat View Program（Version 5.0-J；SAS Institute Inc. USA）を用い、 $p < 0.05$ を統計学的有意差ありと定義した。シャント側・非シャント側の血液透析前後におけるCPTに関しては、Wilcoxonの

符号順位検定で解析した。また、対象患者を性別と糖尿病の有無で2群に分けた場合におけるCPTに関しては、Mann-WhitneyのU検定で解析した。CPTと各種臨床データの関連性に関しては、Spearman順位相関検定と重回帰検定で解析した。データは、すべて平均±標準偏差（SD）により表示した。

Ⅳ. 結 果

1. 健常人と血液透析患者の臨床的背景

健常人112名（男52名、女60名）の平均年齢は、 61.5 ± 13.7 歳（男 62.3 ± 14.4 歳、女 60.8 ± 13.2 歳）であった。CPTは、 $8.8 \pm 3.1 \mu A$ （男 $10.3 \pm 3.2 \mu A$ 、女 $7.5 \pm 2.3 \mu A$ ）であり、男性では女性と比較して有意に高値であった（ $p < 0.0001$ ）（表1-1）。また、年齢とCPTには正の相関が認められた（ $p < 0.0001$ ）。

血液透析患者61名（男36名、女25名）の平均年齢は、 63.5 ± 13.1 歳（男 65.0 ± 14.2 歳、女 58.6 ± 16.5 歳）であった。血液透析導入の原疾患としては、糖尿病が21名、非糖尿病が40名であった（表1-2）。

健常人と透析患者におけるCPTの比較では、CPTが最も低い血液透析後の非シャント側でさえ、透析患者の方が健常人と比較してCPTは有意に高値であった（男 $p = 0.03$ 、女 $p < 0.004$ ）。また、両群間において男女比と平均年齢には、有意な差はみられなかった。

2. シャント側と非シャント側におけるCPTの比較

血液透析前におけるCPTは、シャント側では非シャント側と比較して、有意に高値であった（血液透析前：シャント側 $14.7 \pm 5.8 \mu A$ 、非シャント側 $12.3 \pm 4.4 \mu A$ 、 $p < 0.0001$ ）（図2）。

表 1-1 健常人における年齢および電流知覚閾値

	健常人	男	女	p
症例数 (男/女)	112	52	60	—
年齢 (歳)	61.5±13.7	62.3±14.4	60.8±13.2	NS
電流知覚閾値 (μ A)	8.8±3.1	10.3±3.2	7.5±2.3	<0.0001

表 1-2 透析患者における年齢, 原疾患, 透析歴および電流知覚閾値

	透析患者	男	女	p
症例数 (男/女)	61	36	25	—
年齢 (歳)	63.5±13.1	65.0±14.2	58.6±16.5	NS
原疾患 (糖尿病/非糖尿病)	21/40	15/21	6/19	NS
透析歴 (年)	4.7±4.5	4.9±4.8	4.3±4.1	NS
電流知覚閾値 (μ A)				
血液透析前 シヤント側	14.7±5.8	16.6±6.1	12.0±4.1	<0.003
血液透析後 シヤント側	13.4±6.5	14.9±7.2	11.2±4.6	<0.04
血液透析前 非シヤント側	12.3±4.4	13.4±4.5	10.7±3.7	<0.007
血液透析後 非シヤント側	10.6±3.2	11.7±3.1	9.1±2.7	<0.003

NS : not significant

図 2 血液透析前のシヤント側と非シヤント側における電流知覚閾値の比較

血液透析前における電流知覚閾値は, シヤント側では非シヤント側と比較して有意な上昇がみられた(血液透析前:シヤント側 $14.7 \pm 5.8 \mu\text{A}$, 非シヤント側 $12.3 \pm 4.4 \mu\text{A}$, $p < 0.0001$).

3. 男女における CPT の比較

シヤント側と非シヤント側のいずれにおいても, CPT は男性の方が女性と比較して有意に高値であった(シヤント側; 男 $16.6 \pm 6.1 \mu\text{A}$, 女 $12.0 \pm 4.1 \mu\text{A}$, $p < 0.003$, 非シヤント側; 男 $13.4 \pm 4.5 \mu\text{A}$, 女 $10.7 \pm 3.7 \mu\text{A}$, $p < 0.007$) (表 1-2).

4. 血液透析前後における CPT の比較

シヤント側と非シヤント側ともに, 血液透析前と比較し後では CPT は有意に低下した(シヤント側; 血液透析前 $14.7 \pm 5.8 \mu\text{A}$, 血液透析後 $13.4 \pm 6.5 \mu\text{A}$, $p = 0.04$, 非シヤント側; 血液透析前 $12.3 \pm 4.4 \mu\text{A}$, 血液透析後 $10.6 \pm 3.2 \mu\text{A}$, $p < 0.002$) (図 3).

5. CPT に関与する因子についての検討

非シヤント側における CPT は, 年齢 ($p < 0.0001$), 性 ($p = 0.007$), 腎不全の有無 ($p < 0.0001$) との間に有意な相関傾向がみられた. 一方, CPT と糖尿病の

有無, 血清補正 $\text{Ca} \cdot \text{iPTH} \cdot \text{AGEs} \cdot \text{VitB}_{12} \cdot \text{P}$ との間には相関はみられなかった. また, 非シヤント側における CPT を従属変数とし, 単回帰検定で有意であったパラメーターを独立因子とした重回帰検定でも, 単回帰検定と同様, 年齢, 性, 腎不全の有無は CPT の独立した規定因子であった (表 2).

6. 糖尿病患者と非糖尿病患者における CPT の比較

糖尿病と非糖尿病患者の 2 群間において, シヤント側と非シヤント側のいずれにおいても CPT に有意な差はみられなかった (表 3).

V. 考 察

Neurometer® CPT を用いた既報⁶⁻⁸⁾と同様に, 透析患者における電流知覚閾値 (CPT) はシヤント側・非シヤント側にかかわらず, 健常人と比較して有意に高値であった. 平林ら^{7,8)}は, CAPD 療法中の末期腎不全患者において, Neurometer® CPT を用いて拇趾を刺激し末梢神経障害の検討を行っているが, われわれの結果と同様に健常人と比較して糖尿病の末期腎不全患者では CPT は高値であった. しかし, 非糖尿病の末期腎不全患者では, $\text{A}\beta$ 線維のみ健常人と比較して高値であったと報告している. 彼らが測定した非糖尿病患者の CAPD 療法期間は平均 22.8 か月とわれわれの対象患者の半分にも満たないことや測定部位が異なることが関与しているのかもしれない. しかし, 健常人 (37.9 歳) と比較して非糖尿病患者 (55.9 歳) の平均年齢差が約 18 歳もあったにもかかわらず, なぜ $\text{A}\delta$ と C 線維では有意な差がみられなかったのかは不明

図 3 血液透析前後の電流知覚閾値の比較

シャント側・非シャント側ともに血液透析前後における電流知覚閾値に有意な改善がみられた（シャント側；血液透析前 $14.7 \pm 5.8 \mu\text{A}$ ，血液透析後 $13.4 \pm 6.5 \mu\text{A}$ ， $p=0.04$ ，非シャント側；血液透析前 $12.3 \pm 4.4 \mu\text{A}$ ，血液透析後 $10.6 \pm 3.2 \mu\text{A}$ ， $p<0.002$ ）。

表 2 電流知覚閾値を従属変数とし年齢，性別，腎不全の有無を独立変数とした場合における重回帰解析

	回帰係数	標準誤差	標準回帰係数	t 値	p 値
切片	5.67	0.99	5.70	5.77	<0.0001
年齢	0.09	0.01	0.39	6.60	<0.0001
性別	-2.56	0.39	-0.40	-6.63	<0.0001
腎不全の有無	-1.32	0.40	-0.20	-3.27	0.0013

表 3 糖尿病と非糖尿病患者における比較

	糖尿病	非糖尿病	p
症例数（人）	21	40	—
年齢（歳）	64.1 ± 10.8	61.5 ± 17.4	0.79
透析歴（年）	4.0 ± 4.4	5.1 ± 4.5	0.19
電流知覚閾値シャント側（ μA ）	15.5 ± 6.6	14.3 ± 5.3	0.34
電流知覚閾値非シャント側（ μA ）	12.3 ± 4.0	12.3 ± 4.6	0.37
インタクト PTH（pg/mL）	223.0 ± 135.3	159.7 ± 96.7	0.10
ビタミン B ₁₂ （pg/mL）	585.8 ± 356.7	503.0 ± 317.7	0.20
カルシウム（mg/dL）	9.0 ± 0.7	9.2 ± 0.6	0.32
リン（mg/dL）	5.2 ± 1.1	5.1 ± 1.0	0.58
AGE（mU/mL）	15.0 ± 8.5	16.2 ± 5.5	0.14

である。

今回の検討では，シャント側では非シャント側と比較して CPT は有意に高値であった。その理由としては，血液透析患者では週 3 回の透析治療開始時に穿刺を毎回少なくとも 2 回行うことにより，シャント側では非シャント側に比べ知覚鈍麻をおこしている可能性が考えられた。しかし，シャントの違和感や穿刺部の痛みがあるために注意散漫となり，知覚神経障害が少なくとも電流刺激を感じにくくなっている可能性もあり，さらなる検討が必要である。

対象患者を性別により 2 群に分けて行った検討では，健常人と同様に透析患者の男性は女性と比較して，

CPT は有意に高値であった。男女間の検討に関しては，これまでに Neurometer® CPT を用いたものでは，いくつかの報告があるが，一致した結果は得られていない。Katimus ら⁹⁾は，60 名の健常人を対象に顔面と足指を 2,000 Hz で刺激したところ性差はなかったと報告している。また，Kim ら¹⁰⁾は 225 名を対象に顔面にて測定したところ，Katimus ら⁹⁾と同様に性差はなかったと報告している。一方，Takekuma ら¹¹⁾は 1,632 名（男性 818 名，女性 814 名）の多数を対象に手指にて検討したところ，250 Hz と 5 Hz において男性と比較して女性では低値であったと報告している。電流知覚閾値に性差があるか否かについては，さらなる

検討が必要だが、ラットの妊娠中には痛覚閾値は高値になることが報告されている¹²⁾。また、卵巣を摘出したラットに血清 17α エストラジオール (E_2) とプロゲステロンを投与すると痛覚閾値が高値になることも報告¹³⁾されており、何らかの性ホルモンが感覚閾値に関与していると考えられる。

透析患者の末梢神経障害に関与する明確な原因物質は不明であるが、腎不全に伴う何らかの過剰蓄積物や不足物によるものと考えられている。つまり、栄養障害、VitB₁₂欠乏、低カルニチン血症、中分子物質である acid-polyol 誘導体、副甲状腺機能亢進症（副甲状腺ホルモン）、終末糖化産物（AGEs：advanced glycation endproducts）などの複数の因子が発症に関与しており、原因物質は単一ではないと考えられている¹⁴⁻¹⁶⁾。われわれの検討では、シャント側・非シャント側ともに血液透析前と比較し透析後では、CPT は有意に低下した。また、平林ら⁸⁾の報告でも CAPD 療法導入後に CPT が低下した症例がみられたことより、透析患者の CPT 高値に、今回測定した以外の何らかの尿毒素物質が関与している可能性があると考えられた。

本研究では、患者を原疾患により糖尿病患者と非糖尿病患者の2群に分けた解析も行った。糖尿病患者では、糖尿病性神経障害の1つである末梢神経障害も加味されるため、これまでの報告^{4,17)}と同様に非糖尿病患者と比較してCPTは高値であると予測したが、予想に反し両群間には有意な差はみられなかった。その理由としては、尿毒症性神経障害と同様に糖尿病性神経障害は下肢から始まることが多いといわれている。今回、われわれはシャントを有する上肢で測定を行ったことが1つの原因になっているのかもしれない。しかし、尿毒症性神経障害の原因と考えられている血清 AGEs・VitB₁₂・副甲状腺ホルモン濃度は、この両群間において有意な差はみられなかったため、透析患者においては、これら以外の未知の因子が影響している可能性が示唆された。さらに、糖尿病性神経障害のしびれ感、冷感、疼痛は、A δ 線維ないしはC線維の障害が主であり、PainVision® PS-2100 による測定ではC線維を刺激しないことも一因となっているのかもしれない。しかしながら、最近、平松¹⁸⁾は PainVision® PS-2100 を用い、われわれの研究と同様に前腕内側を刺激し、電流知覚閾値を測定した結果を報告している。この研究では、本研究と同様に、女性の電流知覚閾値は男性と比較して有意に低値であった。また、糖尿病患者では非糖尿病患者と比較して、さらにインスリン治療を受けている患者では食事療法あるいは経口糖尿病薬を内服している患者と比較して有意に知覚閾値が高

値であったと報告している。

結 語

健常人と比較して血液透析患者では、CPT は高値であり、知覚鈍麻である可能性が示唆された。また、血液透析患者でも健常人と同様に、男性は女性と比較してCPTが有意に高値であった。さらに、シャント側と非シャント側を比較するとCPTはシャント側で有意に高値であり、血液透析前と後を比較するとCPTは血液透析前で有意に高値であった。血液透析患者における知覚神経障害を早期に発見するために、PainVision® PS-2100 を用い、定期的にCPTを測定することは有用であると考えられる。

謝辞：本研究にあたり健常人のデータの収集にご協力いただきましたニプロ株式会社の皆様と老人ホームに入所されているボランティアの方に心から御礼申し上げます。

本論文の要旨は、第53回日本透析医学会年次学術集会（2008年6月、神戸）で報告した。

利益相反（Conflict of interests）

特になし

文献

- 1) Masson EA, Veves A, Fernando D, Boulton AJ : Current perception thresholds : a new, quick, and reproducible method for the assessment of peripheral neuropathy in diabetes mellitus. *Diabetologia* 32 : 724-728, 1989
- 2) 嶋津秀昭, 瀬野晋一郎, 加藤幸子, 小林博子, 秋元恵実 : 電気刺激を利用した痛み定量計測法の開発と実験的痛みによる評価. *生体医工学* 43 : 117-123, 2005
- 3) 山陰道明, 山本清香, 並木昭義 : 知覚痛覚定量分析装置 PAINVISION® PS-2100. *臨床麻酔* 32 : 105-108, 2008
- 4) 梅澤慎一, 金森 晃, 矢島義忠, 青木主税 : 電流知覚閾値 (current perception threshold) による糖尿病性末梢神経障害の評価—新しい神経機能装置 Neurometer を用いて—. *糖尿病* 40 : 711-717, 1997
- 5) Payne RB, Little AJ, Williams RB, Milner JR : Interpretation of serum calcium levels in patients with abnormal serum proteins. *Br Med J* 4 : 643-646, 1973
- 6) 増永義則, 村上圭太, 青山澄子 : 末梢知覚閾値検査を用いた血液透析患者の末梢神経障害の検討. *透析会誌* 38(Suppl 1) : 673, 2005
- 7) 平林 晃, 串畑重行, 石田和史, 関口善孝, 頼岡徳在 :

- CAPD 療法症例における電流知覚閾値（CPT）を用いた末梢神経障害の評価. 透析会誌 33(Suppl 1) : 870, 2000
- 8) 平林 晃, 串畑重行, 石田和史, 関口善孝, 頼岡徳在 : CAPD 療法症例における電流知覚閾値（CPT）を用いた末梢神経障害の検討. 腎と透析 別冊腹膜透析 2002 : 129-131, 2002
- 9) Katims JJ, Naviasky EH, Rendell MS, Ng LK, Bleecker ML : Constant current sine wave transcutaneous nerve stimulation for the evaluation of peripheral neuropathy. Arch Phys Med Rehabil 68 : 210-213, 1987
- 10) Kim H, Kho H, Kim YK, Lee SW, Chung SC : Reliability and characteristics of current perception thresholds in the territory of the infraorbital and inferior alveolar nerves. J Orofac Pain 14 : 286-292, 2000
- 11) Takekuma K, Ando F, Niino N, Shimokata H : Age and gender difference in skin sensory threshold assessed by current perception in community-dwelling Japanese. J Epidemiol 10 : S33-38, 2000
- 12) Gintzler AR : Endorphin-mediated increases in pain threshold during pregnancy. Science 210 : 193-195, 1980
- 13) Dawson-Basoa MB, Gintzler AR : 17-Beta-estradiol and progesterone modulate an intrinsic opioid analgesic system. Brain Res 601 : 241-245, 1993
- 14) Man NK, Cueille G, Zingraff J, Boudet J, Sausse A, Funck-Brentano JL : Uremic neurotoxin in the middle molecular weight range. Artif Organs 4 : 116-120, 1980
- 15) Statopolsky E, Martin K, Hruska K : Parathyroid hormone metabolism and its potential as a uremic toxin. Am J Physiol 239 : F1-12, 1980
- 16) Kuwabara S, Nakazawa R, Azuma N, Suzuki M, Miyajima K, Fukutake T, Hattori T : Intravenous methylcobalamin treatment for uremic and diabetic neuropathy in chronic hemodialysis patients. Intern Med 38 : 472-475, 1999
- 17) 鈴木研一, 袁 群, 小林由夏, 後藤由夫 : Neurometer を用いた知覚検査. 末梢神経 6 : 59-62, 1995
- 18) 平松邦英 : 糖尿病患者における皮膚電流知覚閾値の検討. J Okaya Med Association 122 : 20-23, 2007