電気麻酔法の装置ならびに術式の改良に関する研究

川 口 叔 宏

東京医科歯科大学歯学部第三歯科保存学教室

(指導：鈴木賢策教授)

(受付：昭和43年10月14日)

Some improvements on apparatus of Electro-Anesthesia and its technique

Yoshihiro Kawaguchi

Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry,

Tokyo Medical and Dental University

(Director: Prof. Dr. Kensaku Suzuki)

目 次

1. 緒 言
2. 臨床的研究
 - 実験1 切削工具より通電する従来の電気麻酔法の改良
 - A 実験方法
 - B 実験成績
 - C 小 括
 - 実験2 歯頸部歯肉縁より通電する新しい電気麻酔法
 - A 実験方法
 - B 実験成績
 - C 小 括
3. 実験的研究
 - 実験1 歯頸部歯肉縁よりの陽通電の歯牙電気刺激の防止作用
 - A 実験方法
 - B 実験成績
 - C 小 括
 - 実験2 歯頸部および根尖部歯髄の電位測定
 - A 実験方法
 - B 実験成績
 - C 小 括
4. 考 按
5. 結 論
6. 文 献

1. 緒 言

自然治癒の行われない歯牙硬組織疾患の治療では、罹患歯質のみでなく健康歯質をも機械的に削除する必要があるが、象牙質の切削にはしばしば激しい痛みを伴うことが多く、種々な除痛法が試みられている。

近年優秀な局所麻酔剤の開発により窩洞形成時の除痛法としてそれらの浸潤または伝達麻酔が広く用いられている。しかし夥しい数の歯牙硬組織に対する手術時の除痛法としては手放して満足すべきものではない。すなわち度重なる施術による薬剤に対する過敏症の発現、特徴とする優れた除痛効果はかえって術式を粗暴なものとして歯髄障害を残す危惧、麻酔の発現までかなりの時間を必要とすること、注射を嫌う患者も決して少ないことなどが欠点として挙げられる。

これらの欠点を満たすものとして鈴木¹⁾の電気麻酔法^{1,2)}がある。この方法は手術器具を直流電源の陽極に継いで手術器具に電導子の役を兼ねさせ、手術部位に4~20 μ A 程度の極めて微弱な平流を送るもので、手術部の麻酔と同時に手術が行われ、時間の無駄もなく、薬剤に対する過敏状態の発現の危惧もない。さらに長田³⁾によれば、電気麻酔には窩洞形成時に起る歯髄の障害を防止する効果が見られるとされている。一方電気麻酔で

は手術器具に電導子の役目を兼ねさせるため手術部位に適確に電流が送り得る利点はあるが、象牙質切削時には工具は回転している状態で用いられるので工具に安定した電氣的接続を与えることがむずかしく、平流通電がしばしば乱される欠点がある。したがって工具の回転をできるだけ低速にし、工具を歯質に押しつけるようにして切削するなど、種々な試みが行われているが、この点従来の電気麻酔法の術式では高速切削法にますます適応し難い一面がある^{4,5,6)}。

著者は大竹⁷⁾が急性歯髄炎の痛みに対して、歯頸部歯肉縁よりの $10 \sim 15 \mu\text{A}$ 程度の陽通電に顕著な鎮痛効果を認めていることから、従来の電気麻酔装置に2, 3の改良を施し電気麻酔の術式の簡易化を計り、歯頸部歯肉縁よりの陽通電が象牙質切削時の除痛法として有効に働くことを確かめたので、その術式ならびに成績について報告する。

2. 臨床的研究

実験1 切削工具より通電する従来の電気麻酔法の改良

A 実験方法

1) 実験に用いた電気麻酔器(図1, 2, 3, 4)

鈴木⁸⁾の Anode-S を改良して陽極を2端子とし、単独にまたは同時にそれぞれの端子から $0 \sim 50 \mu\text{A}$ までの任意の強さの直流が取り出せ、電流値は切換スイッチによって別々に電流計で直読できるようにした。またネオンランプを用いた電流断続検出装置を回路の電流計よりも陽極側に $2 \text{ K}\Omega$ の抵抗と並列に組み込み、麻酔電流の断続によって抵抗の両端に生ずる電圧を増幅し、微分してその変化分を取り出し、フリップ・フロップ回路に入れて $20 \sim 30 \text{ msec}$ のパルスが発生させ、これをさらに増幅してネオンランプを点灯させて電流計には現れない速い電流の断続が検出できるようにした。この装置の電源は 6 V の乾電池を用い、電源切換スイッチにより麻酔電流の電源としても使えるようにした。

電気麻酔器は手術部への誘導電流の影響を防ぐ

図1 電気麻酔器

a, b 陽極 c 陰極(炭素棒)
d ターミナルボックス

図2 電気麻酔器ブロックダイアグラム

ため陽極接地とし、さらに陰極端子を $50 \mu\text{F}$ のコンデンサーを介して陽極に継ぎ患者の体を接地した。陽極2端子と陰極端子を電気麻酔器から離してターミナルボックスとし、全ての誘導線はシールド線を用いて一点接地を行なった。

2) 被検者ならびに被検歯(表1)

被検歯は東京医科歯科大学歯学部附属病院保存治療科を訪れた15才より54才にわたる男58名

図3 電気麻酔器結線図

図4 電流断続検出装置構成図

表 1. 被検者ならびに被検歯

群	第 1 群			第 2 群			第 3 群		
	対 照 群			第 1 実験群			第 2 実験群		
性 別	♂	♀	合計	♂	♀	合計	♂	♀	合計
被検者数	17	39	56	20	37	57	21	20	41
平均年齢	32.1	21.6		26.1	22.7		28.4	22.1	
被検歯数	34	70	104	28	52	80	45	51	96

(平均年齢 26.5 才), 女 96 名 (平均年齢 22.5 才) 計 154 名の患者の 280 歯で, 咬合面に I 度または II 度の齲蝕をもつ主に大白歯で, 無作為に次の 3 群に分けた。

第 1 群: 56 名 (男 17 名, 女 39 名) の 104 歯 (男

上顎 16 歯, 下顎 18 歯; 女上顎 30 歯, 下顎 40 歯) であった。

第 2 群: 57 名 (男 20 名, 女 37 名) の 80 歯 (男上顎 8 歯, 下顎 20 歯; 女上顎 15 歯, 下顎 37 歯) であった。

第 3 群: 41 名 (男 21 名, 女 20 名) の 96 歯 (男上顎 24 歯, 下顎 21 歯; 女上顎 29 歯, 下顎 22 歯) であった。

3) 窩洞形成法

患者には電気麻酔のことについては何も言わずに生理的食塩水を湿らせたガーゼを巻いた炭素棒の陰極を患者の右手にしっかりと握らせ, 温水の持続的注水下にエアータービンを用いてエナメル質を削除し, 象牙質が露出した所で電気エンジンに切り換え (round bur # 1 ~ 5 または flattend fissure bur # 557 ~ 559), 5,000 ~ 15,000 r.p.m. 程度の回転数でバーを窩洞に押し付けるようにして窩洞形成を行った。

電気麻酔器の陽極はあらかじめ電流の断続のないことを確認した高宮製のコントラアングル・ハンドピースの後端に継いでおいた。形成を行いながら患者に痛みの程度を問診し、痛みを訴えた症例については患者にわからないように電気麻酔器のスイッチを入れ、 $4\mu\text{A}$ の通電を行いながら形成を続け、痛みの程度を問診した。 $4\mu\text{A}$ の通電で除痛効果のなかった症例では通電値を $10\mu\text{A}$ として形成を行い、その際の痛みの程度を問診した。

4) 除痛効果の判定

象牙質切削時に患者の訴えた痛みの程度を

まったく痛くない (一)

痛くはないが異常感がある (±)

軽い痛みがある (+)

強い痛みがあるが手術には耐えられる (++)

激しい痛みで手術に耐えられない (+++)

の5段階に分け、無通電時と陽通電時の痛みの程度を比較した。患者の主観による訴えを痛みの程度の基準として用いたので、訴えや表現が不明瞭な症例はデーターから除外した。また切削時に患者が示した顔面の歪み、口輪筋の収縮、四肢の緊張、唾液分泌の増加、叫び声、流涙などを判定の際の一助とした。

除痛効果は通電前の痛みの程度が通電中に明らかに一段階以上軽減したものを有効、変化のなかったもの、または痛みの程度が増強した症例を無効と判定した。

B 実験成績

1) 患者の接地の有無が電気麻酔効果に及ぼす影響

予備実験によると本実験を行った診療室における誘導電圧は次のような値であつた。すなわち

30 蕊ビニール被覆線 20~40 mV/m

リノリウム床に皮靴を履いて立つた人体 100~300 mV

歯科治療椅子に座つた人体 300~400 mV

電気麻酔器 100~150 mV

の数値を示したが、これらは接地によつていずれも 0 となつた。

第1群の104歯は対照群として従来の電気麻酔法により陽極接地のみとして実験を行った結果、表2のごとき成績を得た。すなわち104歯中76歯

表 2. 電気麻酔による除痛効果：対照群

通電前の切削 痛の程度 通電中 の切削 痛の程度	++	+	±	症例数
—	1	20	15	36
±	5	29	14	48
+	6	12		18
++	2			2
症 例 数	14	61	29	104

有効 76/104 : 73.1%

無効 28/104 : 26.9%

(73.1%)に除痛効果を認め、28歯(26.9%)では効果が認められなかった。陽通電前と陽通電中の痛みの程度の差の有無をF検定すると、 $F=180.0 > F_{103}(0.05)=3.95$ で明らかに差が認められ、陽通電による除痛効果があると言える。また男女および上下顎の効果の差を χ^2 検定してみると、男女差($\chi^2=1.03$)、上下顎差($\chi^2=0.03$)とも認められなかった。

第2群の80歯は第1実験群とし、陽極接地をすると同時に患者に誘起される誘導電圧を麻酔電流に対して影響を与えないように $50\mu\text{F}$ のコンデンサーを介して接地し実験を行ったところ、表3のごとき成績を得た。すなわち80歯中65歯

表 3. 電気麻酔による除痛効果
第1実験群：患者を接地した場合

通電前の切削 痛の程度 通電中 の切削 痛の程度	++	+	±	症例数
—		11	2	13
±	5	32	2	39
+	15	6	3	24
++	4			4
症 例 数	24	49	7	80

有効 65/80 : 81.3%

無効 15/80 : 18.8%

(81.3%)に除痛効果が認められ、15 歯 (18.8%)では効果が認められなかった。陽通電前と陽通電中の痛みの程度の差は $F = 149.6 > F_{79} (0.05) = 3.96$ で電気麻酔の効果はあり、男女間 ($\chi^2 = 0.56$) および上下顎間 ($\chi^2 = 2.14$) には効果の差は認められなかった。

2) 電流断続検出装置が電気麻酔効果に及ぼす影響

回転している切削工具を電導子とする従来の電気麻酔法では、麻酔に必要な一定の平流を送っていても、窩洞形成中に電流計に現れない速い電流の断続を起しやすい。そこでこの速い電流の断続を施術中に知ることができるネオンランプを用いた電流断続検出装置を作動させながら窩洞形成を行い、電気麻酔の除痛効果を検討した結果、表4のごとき成績を得た。なおこの実験にあたっては陽極および患者の接地を行った。

表 4. 電気麻酔による除痛効果
第2実験群：電流断続検出装置を作動した場合

通電前の切削 痛の程度 \ 通電中 の切削 痛の程度	++	+	±	症例数
—		15	10	25
±	2	38	18	58
+	1	10		11
++	2			2
症 例 数	5	63	28	96

有効 66/96 : 68.8%

無効 30/96 : 31.3%

本実験の成績は第3群を第2実験群として用い、96 歯中 66 歯 (68.8%) に除痛効果が認められ、30 歯 (31.3%) は効果なしと判定された。陽通電の効果の有無をF検定してみると $F = 151.1 > F_{95} (0.05) = 3.95$ で電気麻酔の効果はあり、男女差 ($\chi^2 = 0.22$) および上下顎差 ($\chi^2 = 0.06$) は認められなかった。

C 小 括

鈴木電気麻酔器 Anode-S を改良し、患者の体に誘導される電圧を除くためコンデンサーを介

して陰極をも接地し、また電流計に現れない麻酔電流の速い断続を知るためにネオンランプを用いた電流断続検出装置を回路に組み込んだ。

切削工具と炭素棒間の異種金属の接触電位を麻酔電流の電源として用いると、その電圧は約 600 mV であるのに対して歯科治療椅子に座った患者の誘導する電圧がその 50~60% に当る 300~400 mV であり、手術部を流れる電流が動揺し安定した除痛効果が得られないことが多い。患者に誘導されるこの電圧はおもに屋内交流に起因するものである。50 μ F のコンデンサーを介して患者を接地し誘導電圧の影響を除くと、80 歯中 65 歯 (81.3%) に除痛効果があり、患者を接地しない対照群では 104 歯中 76 歯 (73.1%) に除痛効果が認められた。患者の接地の有無が電気麻酔の効果に及ぼす影響を χ^2 検定してみると、 $\chi^2 = 1.686$ で危険率 20% で有意差が認められた。

窩洞形成時の麻酔電流の断続を知るためネオンランプによる電流断続検出装置を作動させると、96 歯中 66 歯 (68.8%) に除痛効果が見られ、第2群を対照として χ^2 検定してみると $\chi^2 = 3.58$ で危険率 10% で対照よりも効果が低下していた。

実験2 歯頸部歯肉縁より通電する新しい電気麻酔法

著者⁸⁾ は予備実験として某工場歯科診療室を訪れた 16 才より 57 才にわたる 298 名 (男 254 名、平均年令 27.0 才; 女 44 名、平均年令 22.8 才) の患者の 377 歯 (男 283 歯、女 94 歯) で咬合面に I 度および II 度の齲蝕をもつ大臼歯の歯頸部歯肉縁より 4, 10, 20, 30 μ A の陽通電下に窩洞形成を行いその除痛効果を検討した結果、10~20 μ A の陽通電に象牙質切削時の除痛効果が期待できることを知り、その至適電流値を知るために以下の実験を行った。

A 実験方法

1) 実験に用いた電気麻酔器

実験1に用いた麻酔器を用いて、ターミナルボックスの陽極端子と患歯の歯頸部に装着したランプを継ぎ、陰極端子に継いだ炭素棒を患者の右手にしっかりと握らせ電気麻酔の回路を作った。麻

酔器は陽極接地とし、患者もコンデンサーを介して接地した。

2) 被検者ならびに被検歯 (表5)

被検歯は東京医科歯科大学歯学部附属病院保存治療科 および 都内某銀行歯科診療室を訪れた14才より54才にわたる141名 (男86名, 女55名) の患者の369歯で, 咬合面にⅠ度またはⅡ度の齲蝕をもつ主に大白歯を用い, 表5に示すごとく無作為に8群にわけ, $8\mu\text{A}$ から $22\mu\text{A}$ まで $2\mu\text{A}$ ごとに陽通電を行った。

また千葉県印西町立大森小学校の学童99名 (男55名, 平均年令9.75才; 女44名, 平均年令9.81才) の咬合面に齲蝕 (黛⁹⁾ の電気抵抗値による齲蝕診断法により電気抵抗値 $150\sim 600\text{K}\Omega$ のもの) をもつ6才臼歯116歯を用いて, 至適電流値と考えられる $16\sim 18\mu\text{A}$ の陽通電を併用して窩洞形成を行い, その除痛効果を確認した。

3) 窩洞形成法ならびに除痛効果の判定

患者には電気麻酔のことについては何も言わずに, 図5のごとく患歯に誘導線を鑑着したクラン

図5 歯頸部歯肉縁より陽通電する電気麻酔法

プを装着し, ターミナルボックスの陽極端子に継ぎ, 生理的食塩水を湿らせたガーゼを巻いた炭素棒の陰極を患者の右手にしっかりと握らせた。クランプは歯牙に接する部分のメッキを剥しておいた。前の実験に準じてエアータービンと電気エンジンで窩洞形成を行い, その際の痛みの程度を問診し, 痛みを訴えた症例については電気麻酔器のスイッチを入れて所定の陽通電を行いながら形成

を続け痛みの程度を問診した。本実験では電流の断続については特別の考慮を払う必要がなく, したがって窩洞形成に際してはバーを窩洞に押し付けるような特別な注意は払わなかった。

除痛効果の判定は前の実験に準じて行った。

B 実験成績

1) 至適電流値の検討

表5. 電気麻酔による除痛効果

電 流 値	8 μA	10 μA	12 μA	14 μA	16 μA	18 μA	20 μA	22 μA
被 検 者 数	28人	42人	24人	24人	34人	35人	29人	24人
被検者平均年令	28.0	25.8	25.4	29.1	26.1	26.6	26.8	25.2
被 検 歯 数	49	63	35	36	50	54	47	35
有 効 歯 数	19	31	14	22	37	37	24	18
無 効 歯 数	30	32	21	14	13	17	23	17
%	38.8	49.2	40.0	61.1	74.0	68.5	51.1	51.4

図6 電流値と電気麻酔有効頻度

各電流値による除痛効果は表5および図6に示すごとくで、その電流値-有効頻度曲線は16 μ Aで最大値74.0%を示し、18 μ Aではこれよりやや劣るが70%に近い値となった。

各電流値相互間の除痛効果の差を χ^2 検定すると表6のごとくで、16 μ Aおよび18 μ A通電時

表6 各電流値における除痛効果の差の検定

の除痛効果は他の電流値の除痛効果に対して明らかに有意の差が認められた。したがって歯頸部歯肉縁からの陽通電が象牙質切削時の痛みを軽減し、16 μ A~18 μ Aがその至適電流値と考えられた。また χ^2 検定の結果、いずれの電流値においても除痛効果の男女差および上下顎差は認められなかった。

2) 至適電流値を用いた場合の除痛効果

前の実験で至適電流値と考えられた16~18 μ Aの陽通電を用いて学童の6才臼歯の窩洞形成を行ったところ、表7, 8, 9のごとき成績を得た。

すなわち116歯中87歯(75.0%)に除痛効果が認められ、29歯(25.0%)では効果が認められなかった。通電前と通電中の切削痛の程度の差の有無をF検定すると $F=205.0 > F_{115}(0.05)=3.92$ となり電気麻酔の効果はあると言える。また男女別に見てみると男子では65歯中47歯(72.3%)、

表7. 歯頸部歯肉縁より通電する電気麻酔法の除痛効果：男女別成績

通電前の 切削痛 通電中の 切削痛	++		+		±		症例数	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
—	1		15	13	9	6	25	19
±	2	2	16	14	5	6	23	22
+	4	5	10	5	1		15	10
++	2						2	
症 例 数	9	7	41	32	15	12	65	51
	♂ 47/65 : 72.3%							
	♀ 40/51 : 78.4%							

表8. 歯頸部歯肉縁より通電する電気麻酔法の除痛効果：上下顎別成績

通電前の 切削痛 通電中の 切削痛	++		+		±		症例数	
	上	下	上	下	上	下	上	下
—		1	15	13	5	10	20	24
±	4		13	17	10	1	27	18
+	5	4	8	7		1	13	12
++	1	1					1	1
症 例 数	10	6	36	37	15	12	61	55
	上顎 42/61 : 68.9%							
	下顎 45/55 : 81.8%							

表9. 歯頸部歯肉縁より通電する電気麻酔法の除痛効果：合計

通電前の 切削痛 通電中の 切削痛	++	+	±	症 例 数
	1	28	15	44
±	4	30	11	45
+	9	15	1	25
++	2			2
症 例 数	16	73	27	116
	有効 87/116 : 75.0%			
	無効 29/116 : 25.0%			

女子では51歯中40歯(78.4%)に除痛効果が認められ、男女の差($\chi^2=0.553$)は認められなかった。さらに上下顎別については上顎では61歯中42歯(68.9%)、下顎では55歯中45歯(81.8%)

に除痛効果が認められたが $\chi^2=2.59$ となり危険率 5% で有意の差はなかった。

C 小 括

電流の断続を起しやすい回転している切削工具から陽通電を行う従来の電気麻酔法とは異り、歯頸部歯肉縁より切削工具とは関係なく一定の通電を行う方法で象牙質切削時の除痛効果をⅠ度およびⅡ度の齲蝕に罹患したおもに大白歯にⅠ級窩洞を形成して検討した結果、この術式でも窩洞形成時に 75% の除痛効果が得られ、その至適電流値は $16\sim 18\mu A$ であった。男女および上下顎間に除痛効果の差は認められなかった。

3. 実験的研究

実験 1 歯頸部歯肉縁よりの陽通電の歯牙電気刺激の防止作用

臨床実験において歯頸部歯肉縁よりの陽通電が窩洞形成時の痛みを軽減することを知ったが、陽通電の除痛効果を実験的に確認するため以下の実験を行った。

A 実験方法

1) 被検歯：年令 24~29 才の男子の健全な上顎第一小臼歯(両隣に歯も健全歯)で複根のもの 74 歯を用いた。

2) 電気刺激装置：日本工電工業社製多用途電子管刺激装置 MSE-40 型、アイソレーターは同社製の MSE-JH を用いた。

3) 電気刺激および陽通電：刺激頻度 3/sec, 刺激時間 1 msec, 刺激間隔 10 msec の矩形波陰極性電気刺激を行った。歯頸部歯肉縁よりの陽通電には臨床実験に用いた電気麻酔器を使用し、被検歯に装着したクランプから $16\sim 18\mu A$, $20\mu A$, $25\mu A$ および $30\mu A$ の陽通電を行った。

4) 歯牙の痛み閾値の測定方法：図 7 に示すごとく被検者を電気遮蔽室で歯科治療椅子に座らせ、被検歯をラバーダム防湿し、歯面をアルコール綿にて清掃乾燥し、生理的食塩水で湿らせた白陶土を介して歯頸部より 3 分の 2 の頬側面中央エナメル質上に刺激電極を当て、口角部に表面積約 4 cm^2 のステンレス製無関電極を装着した。

図 7 歯頸部歯肉縁よりの陽通電の歯牙電気刺激の防止作用実験

- a 電気麻酔陽極(クランプ)
- b 電気麻酔陰極(炭素棒)
- c 刺激電極 d 無関電極

クランプに電気麻酔器の陽極端子を継ぎ、右手に陰極端子に継いだ生理的食塩水を湿らせたガーゼを巻いた炭素棒を握らせ、被検者と検者の両方が陽通電の有無がわからないように実験補助者が電気麻酔器のスイッチを on-off する double blind test とし、被検者が痛みを訴えた電圧をこの条件下での痛み閾値として、無作為の順序に陽通電時および無通電時の刺激を 5 回ずつ行い、それぞれ 5 回の平均値を痛み閾値とした。

B 実験成績

表 10, 11, 12, 13 に示すごとく成績を得た。それぞれの群における無通電時と陽通電時の痛み閾値の分布および閾値の差の分布は多少のばらつきを示したが、縦軸に累積度数百分率、横軸に閾値の差をとり、これらの分布を正規確率紙で検定するとほぼ直線となり、正規分布を考えると考えられた。そこで、それぞれの群の無通電時および陽通電時の閾値の平均、閾値の差の平均、不偏分散、t 検定値を求めると表 14 のような結果となった。

すなわち $25\mu A$ の陽通電時に閾値の差は最も

表 10. 電気刺激による痛み閾値(I) 16~18 μ A 陽通電

被検者および被検歯	痛 み 閾 値		閾値の差
	無 通 電	陽 通 電	
T. I. 4	92.0V	93.7V	1.7V
I. I. 4	50.6	54.1	3.5
T. I. 4	134.0	144.6	10.6
T. I. 4	58.0	57.8	-0.2
S. M. 4	72.2	73.7	1.5
U. M. 4	73.3	75.6	2.3
U. M. 4	44.5	46.6	2.1
T. K. 4	114.0	116.5	2.5
T. K. 4	105.5	106.4	0.9
T. K. 4	110.8	113.0	2.2
T. K. 4	105.4	106.6	1.2
U. M. 4	124.8	131.5	6.7
U. M. 4	162.0	162.0	0
U. M. 4	51.1	51.4	0.3
U. M. 4	67.0	67.5	0.5
T. K. 4	123.0	119.8	-3.2
T. K. 4	82.3	84.7	2.4
T. K. 4	82.0	82.6	0.6

表 11. 電気刺激による痛み閾値(II) 20 μ A 陽通電

被検者および被検歯	痛 み 閾 値		閾値の差
	無 通 電	陽 通 電	
I. I. 4	70.4V	71.8V	1.4V
T. I. 4	64.3	71.2	6.9
Y. N. 4	76.1	76.5	0.4
F. S. 4	23.2	25.3	2.1
U. M. 4	55.0	56.3	1.3
S. M. 4	48.0	48.0	0
U. M. 4	38.2	40.3	2.1
T. K. 4	85.3	87.0	1.7
T. K. 4	111.2	115.4	4.2
T. K. 4	101.0	105.4	4.4
T. K. 4	117.6	121.4	3.8
U. M. 4	121.8	122.5	0.7
U. M. 4	158.3	163.0	4.7
U. M. 4	119.9	123.3	3.4
U. M. 4	59.5	61.4	1.9
T. K. 4	132.9	131.4	-1.5
T. K. 4	85.1	88.8	3.7
T. K. 4	91.8	94.8	3.0
T. K. 4	87.6	89.5	1.9
U. M. 4	107.5	110.8	3.3

表 12. 電気刺激による痛み閾値(III) 25 μ A 陽通電

被検者および被検歯	痛 み 閾 値		閾値の差
	無 通 電	陽 通 電	
T. I. 4	67.6V	74.6V	7.0V
Y. N. 4	94.2	102.0	7.8
F. S. 4	23.3	26.0	2.7
U. M. 4	55.3	55.5	0.2
S. M. 4	60.5	62.3	1.8
U. M. 4	40.2	41.8	1.6
T. K. 4	95.3	99.8	4.5
T. K. 4	95.5	98.0	2.5
T. K. 4	83.8	86.6	2.8
T. K. 4	108.4	109.4	1.0
U. M. 4	124.4	126.8	2.4
U. M. 4	153.2	156.8	3.6
U. M. 4	114.6	118.2	3.6
U. M. 4	51.5	53.0	1.5
T. K. 4	101.4	104.6	3.2
T. K. 4	94.6	97.0	2.4
T. K. 4	90.2	92.0	1.8
U. M. 4	110.3	113.3	3.0

表 13. 電気刺激による痛み閾値(IV) 30 μ A 陽通電

被検者および被検歯	痛 み 閾 値		閾値の差
	無 通 電	陽 通 電	
T. I. 4	67.0V	71.8V	4.8V
T. I. 4	69.8	76.3	6.5
F. S. 4	23.7	23.8	0.1
U. M. 4	54.5	56.3	1.8
S. M. 4	58.3	60.0	1.7
U. M. 4	37.2	38.0	0.8
T. K. 4	89.8	89.8	0
T. K. 4	99.0	101.5	2.5
T. K. 4	113.5	117.0	3.5
T. K. 4	108.2	107.8	-0.4
U. M. 4	133.5	135.0	1.5
U. M. 4	121.2	125.8	4.6
U. M. 4	66.6	67.6	1.0
T. K. 4	125.3	126.0	0.7
T. K. 4	104.3	105.8	1.5
T. K. 4	93.2	93.0	-0.2
T. K. 4	88.8	89.6	0.8
U. M. 4	107.5	103.8	-3.7

表 14. 陽通電による電気刺激防止作用：統計値

通電値 μA	被検 歯数	痛み 閾 値 volt		閾値の差 volt	不偏分散	t 検定値
		無通電	陽通電			
16~18	18	91.8	93.8	2.0	8.38	2.88
20	20	87.7	90.2	2.5	3.52	5.92
25	18	86.9	89.9	3.0	3.44	6.87
30	18	86.7	88.3	1.6	5.07	2.99

大きく、危険率 5% ではいずれの群においても無通電時と陽通電時の痛み閾値に有意の差が見られ、20 μA および 25 μA 通電時には危険率 1% でも明らかな差が認められた。また 20 μA 通電時と 25 μA 通電時との閾値の差の平均値を検定すると $t=0.873$ で両者の間には有意の差は認められなかった。

したがって、20~25 μA の歯頸部歯肉縁よりの陽通電は電気刺激に対する痛み閾値を高めることが判明した。

C 小 括

成人男子の健全な上顎第一小臼歯 74 歯をエナメル質の上から矩形波電気刺激し、歯頸部歯肉縁より 16~18, 20, 25 および 30 μA の陽通電を行ない、陽通電の刺激防止作用について検討した結果、20~25 μA の陽通電時の痛み閾値の上昇が最も大きく、明らかな刺激防止作用が認められた。

実験 2 歯頸部および根尖部歯髄の電位測定

臨床実験および電気刺激実験において歯頸部歯肉縁よりの陽通電に麻酔効果があることが明らかにされたが、その麻酔機序を知るひとつの手掛りとしてこの実験を行った。

A 実験方法

体重 7 kg の雌成犬を Nembutal で静脈麻酔し、下顎犬歯の歯冠をダイヤモンドディスクで切断し歯髄を露出させ、また根尖部の頰側骨壁を骨バーとラウンドバーで削除して根尖部を露出し、歯頸部にクランプを装着した。波形発振器の出力端子をクランプと口角部に装着したクリップに継ぎ、歯頸部と口角部の間に 50 c/s, 400 c/s の正弦波交流で 0.3 V の電圧をかけ、陰極線オシロス

図 8 歯頸部歯肉縁と歯頸部および根尖部歯髄の電位測定

C. O. S. 陰極線オシロスコープ
W. F. G. 波形発振器 C クランプ
W 口角部 E₁ E₂ 歯髄電極

コプを用いて図 8 に示すごとく歯頸部歯肉縁と歯頸部および根尖部歯髄の電位差を測定した。歯髄電極には尖端部のみを露出した直径 0.5 mm のエナメル被覆線を用いた。

B 実験成績

表 15 に示すとき結果を得た。すなわち歯頸

表 15. 歯頸部歯肉縁と歯頸部および根尖部歯髄の電位差

周波数	歯頸部- 口角部の 電圧	電 位 差	
		歯頸部歯髄	根尖部歯髄
50 c/s	0.3 V	0.08 V	0.1 V
400 c/s	0.3 V	0.06 V	0.08 V

部歯肉縁と歯頸部および根尖部歯髄の間には明らかに電位差が認められ、また歯頸部歯肉縁との電位差は歯頸部歯髄よりも根尖部歯髄の方が大きく、歯頸部からの通電により歯質を通して歯髄方向に電流が流れていると考えられる。周波数 50 c/s を用いた場合の方が 400 c/s の場合よりも生体組織の持つキャパシティーの影響で電位差がわずかに大きくなった。

C 小 括

犬の下顎犬歯を用いて歯頸部と口角部との間に電圧をかけ歯頸部歯肉縁と歯頸部歯髄および歯頸部歯肉縁と根尖部歯髄の電位差を測定した結果、歯頸部歯肉縁、歯頸部歯髄、根尖部歯髄の間には明らかに電位差があり、歯頸部歯肉縁より流した

電流の一部は歯質を通して歯髄方向へ流れ、さらに根尖に向って流れていると推察された。

4. 考 按

電気麻酔には安定した直流（平流）の持続的通电が必要であり、その原理は陽極電気緊張を痛覚受容器、すなわち nociceptor に惹起するものとされている^{1,2,10)}。麻酔電流には至適な電流の強さがあり、象牙質切削時には $4\mu\text{A}$ または $10\mu\text{A}$ 、歯石除去および盲嚢搔爬では $10\mu\text{A}$ と $30\mu\text{A}$ 付近、皮下注射、歯肉切除、膿瘍切開などでは $10\mu\text{A}$ 付近、抜歯では $20\mu\text{A}$ 、鎮痛では $10\sim 30\mu\text{A}$ という微弱な電流値で除痛効果が認められているが¹¹⁾、至適電流値の小さいことが電気麻酔を実施するにあたり、誘導電圧と電流の断続という点で平流の安定した持続的通电を困難にさせている。

生体における微弱電流を取り扱う実験で藤森、松尾¹²⁾の挙げる誘導電流の種類によれば、電気麻酔の実施の上で特に問題となるのは屋内交流に起因する 50 c/s の成分とエンジンのモーターから出るパルス状の火花放電による影響の2つであるが、後者はモーターの雑音防止装置によつてほとんど除去される。従来の電気麻酔器においては図9-aのごとく陽極接地を行つて手術部位への誘導電流の影響を少なくしているが、患者に誘導される電圧は電気麻酔器および手術部のインピーダンスのために接地が不完全であり、したがつて麻酔電流に影響を与える。そこで図9-bのごとく陰極と陽極をコンデンサーを介して接続することにより患者を誘導電圧に対して接地し、その接地効果について検索した。

その結果、患者を接地しない対照群では 73.1% 、患者を接地した実験群では 81.3% の除痛効果が認められ、 χ^2 検定によると 20% の危険率で有意の差が見られた。統計学的には危険率 20% ではさしたる差がないわけであるが、臨床的立場から見るとわずかではあるが患者を接地した方がより除痛効果を得やすいと考えられる。

従来の電気麻酔法を用いた実験対照群の除痛効果が先人の 90% 前後という成績に比べて低かつ

図9 誘導電流の接地

a) 従来の接地方法 b) 患者の接地方法
EA: 電気麻酔器 R: 内部インピーダンス
K: 患者 C: 陰極 D: 陽極 Z: 手術部
Con: コンデンサー

たのは、除痛効果の判定基準を患者の訴えによつたのと窩洞形成時に電流の断続を起さないように切削するテクニックの差、さらに本実験では電流値を $4\mu\text{A}$ および $10\mu\text{A}$ に限つたためであると思われる。

除痛効果の判定基準を患者の訴えによつた点については問題が少なくはないが、痛みの客観的観察が困難な現状ではやむを得ないと思われる。大久保¹³⁾、小嶋⁹⁾らは G. S. R. を併用しているが、これも患者の心理状態によつてかなりの動揺があり、痛みの程度を正しく示すものではない。著者は患者への暗示をできるだけ少なくするため、電気麻酔の実施に当り患者には電気麻酔に関する事गरらについては何も告げず、また電極も窩洞形成を始める前に所定の部位に装着しておいた。

回転している切削工具を電導子とする従来の電気麻酔法では、実施に当り、電流の断続をなくし安定した除痛効果を得るのには Grasser⁴⁾ も指摘しているようにかなりのテクニックが必要であ

る。麻酔電流の電気回路の中で断続を起しやすい箇所はバーと窩洞およびバーとハンドピースの間である。鈴木^{1,11)}は新しいハンドピースを用い、コントラアングルに電導性潤滑油を用い、窩洞を電解質溶液で湿潤させ、バーは低速回転で窩洞壁に押しつける切削法を推奨し、落合⁵⁾は各種のハンドピースやコントラアングルの回転時における電氣的接続を陰極線オシロスコープで検討し、電流の断続の少ないいくつかのハンドピースおよびコントラアングルを挙げ、また小嶋⁶⁾はエアタービンのコントラアングルを改良して電気麻酔法を高速切削、ことにエアタービンに応用し81%の除痛効果を得ている。

落合⁵⁾はマジックアイを利用した電流断続検出装置を電気麻酔器に取り付け、10,000～35,000 r.p.m.の中速切削法に応用して窩洞形成時における麻酔電流回路の電氣的接続を見ている。著者はネオンランプを用いた電流断続検出装置を電気麻酔器に組み込み、窩洞形成時に電流の断続状態がネオンランプの点滅によってわかるようにし、象牙質切削時にできるだけ電流の断続が起らないようにしたところ68.8%の除痛効果を認めたが、電流断続検出装置を用いない対照群に比して χ^2 検定によると危険率10%で効果が低下していた。

これはネオンランプを点灯させるために増幅した電圧が電気麻酔の電流回路に影響し、麻酔電流を動揺させるためである。すなわち図10に示すごとく、電流の断続によって生ずる麻酔電流の動揺は電流断続検出装置を作動させるとほぼ2倍の大きさとなり、結局ネオンランプを点灯させるために数10V以上に電圧を増幅しなければならないこの種の装置を電気麻酔器に組み込むのは無理であつて、窩洞形成時には作動させずに必要に応じて回路に着脱するのがよいと思われる。さらに電流断続検出装置は、窩洞形成時に用いて電流の断続状態を知ることよりも、電気麻酔の併用を行なう前に電流の断続を少なくする切削テクニックの習得の際に用いるべきものと考えられる。

大竹⁷⁾は急性歯髄炎の痛みに対して齶窩から5～10 μ A、歯頸部歯肉縁から15～20 μ Aの陽通

図10 電流断続検出装置による麻酔電流の動揺

A: 検出装置を作動させない場合

B: " " " " させた場合

100 c/s, 100 mV/cm

電が著明な鎮痛効果を示すことを報告している。著者は被検歯の歯頸部に装着したクランプから切削工具とは無関係に断続の心配のない陽通電を行いながら窩洞形成を行つたところ、75%の症例に除痛効果が認められ、16～18 μ Aがその至適電流値と考えられ、急性歯髄炎の鎮痛に要する電流値と一致したが、エナメル質上からの陰極性矩形波電気刺激に対する歯頸部歯肉縁よりの陽通電の刺激防止作用は20～25 μ Aで最も著明にみられ、至適電流の強さにわずかの差が認められた。

痛みには適刺激はなく、ある強さ以上のあらゆる物理的、化学的刺激が有効であり、それらの刺激は生体内で終局においてイオンの変化として働くと考えられている。象牙質切削時と電気刺激の場合に除痛効果が最も大きくなる歯頸部歯肉縁よりの陽通電の至適電流値に差が認められたが、こ

れは電気麻酔の作用機序の違いに因るのではなく、窩洞直下への機械的および温熱的刺激と考えられる象牙質の切削と、頬側面エナメル質上からの電気刺激という刺激の種類および刺激部位の違いに起因するものとも考えられる。すなわちエナメル質上からの電気刺激により痛みを生ずる部位は、刺激電流がエナメル質の電気抵抗の低い部位を流れ、象牙質ではおもに象牙細管を径て¹⁴⁾歯髄に達し、象牙質切削時よりも広い範囲の痛覚受容器を刺激するものと考えてよいようであるが、また原¹⁵⁾は脊髄蛙を用いて機械的、化学的および温熱的刺激による脊髄反射を抑制するのに必要な陽通電の電流値を検討し、刺激の種類によって至適電流値が異なることを報告している。

歯頸部歯肉縁より通電する際の電流の径路は電気抵抗値の小さい歯根膜および歯肉などのいわゆる歯周組織が主であると思われる。エナメル質においては Klein¹⁶⁾、Applebaum¹⁷⁾、鈴木¹⁴⁾ によると小柱鞘、エナメル葉板およびエナメル叢などの石灰化の低い部分が電流の径路とされているが、これらの有機構造物とは別に小窩裂溝部と歯頸部全周に表在性低石灰化帯が、また咬頭部と歯頸部全周に深在性低石灰化帯が存在することを桐野¹⁸⁾は明らかにしている。歯頸部ではこの両低石灰化帯が融合してエナメル質全層が有機基質に富む低石灰化構造を成すので、歯頸部歯肉縁からの陽通電により電流の一部はここから歯髄方向に流れると推察される。現在予備実験の段階であるが、動物の歯を用いて歯頸部歯肉縁よりアンモニア銀のイオン導入を行い、歯牙を組織学的に検索したところ、電流によって運ばれた銀粒子が歯髄内に存在する像が観察された。

切削工具を電導子として直接象牙質に通電する場合の至適電流値はおもに $4\mu A$ であるのに対し、歯頸部歯肉縁のエナメル質の上から通電する場合の至適電流値が $16\sim 18\mu A$ であるのは、鈴木・黛¹⁹⁾により歯肉、窩洞形成中の象牙質、歯頸部エナメル質と象牙質の電気抵抗値をそれぞれ 5, 150, 600 $K\Omega$ として単純に模型的に考えた時、歯質を通して歯髄方向に流れる電流はそれぞ

れ $5/150\times 4\mu A$, $5/600\times 17\mu A$ となり、歯髄にはほぼ同じ強さの電流が流れていると考えてよいようである。

歯頸部歯肉縁よりの通電による除痛効果にも至適電流値があること、また電流の強さに除痛効果が並行しない点、さらに単一神経線維でも外部よりの陽通電で興奮伝導を遮断するには活動電位の約 10 倍が必要であるとされているが、電気麻酔では $0.5\sim 0.6V$ 以下の電圧を用いている点などから考えて、歯頸部歯肉縁からの陽通電は神経線維に直接働き伝導を遮断するのではなく、痛覚受容器すなわち神経自由終末に作用して膜電位を回復したり、膜の脱分極を防ぐ働きをするものと考えられる。

歯における神経自由終末はどのような形態をしているか、またどこに存在するかは今日十分には解明されていないが、有髄の歯髄神経も髄鞘を失って裸の軸索となり、象牙芽細胞層の下に Raschkow の神経叢を作り、Weil の層、象牙芽細胞層および象牙前質中に複雑に分布していると考えられるので、歯牙の表面からの陽通電で神経自由終末のあるものには陰通電と同様な効果、すなわち陰極性電気緊張が生じて閾値が低下していることも考えられる。

切削工具を電導子とする従来の電気麻酔法に比べて歯頸部歯肉縁より陽通電を行う電気麻酔法の除痛効果が低いのは、通電部位が多少異なるために切削中の窩洞直下に刺激を防止するのに十分な陽極電気緊張が起りにくいためとも考えられる。また陽通電の結果、象牙質切削時の痛みが増強した症例は、被刺激部では逆に陰極性電気緊張が生じていたためと推察される。

なお、患者の訴えによると著者の術式による電気麻酔併用時の形成痛は「痛くなりそうだ」、「遠い所で痛い感じがする」、「熱い感じがする」と言った形の表現が少なくなかったが、最近歯髄には痛線維の外に温度感や触覚を司る線維の分布が問題とされているが、これらの訴えは電気麻酔が主として痛覚受容器に働くことに因るものと考えられる。

本実験には歯頸部歯肉縁よりの電導子としてラバーダム装着用の市販クランプを用いたが、これはその形態上の制約から一級単純窩洞以外の窩洞形成には不適當であつたので、歯頸部電極の形態、装着方法など今後考えなければならない点である。

5. 結 論

象牙質切削時の除痛法としての電気麻酔法の装置ならびにその術式の改良を試み、その除痛効果を臨床的および実験的に検討した。

1) 従来の電気麻酔器 Anode-S を改良して陽極を2端子とし、0~50 μ A までの任意の平流が同時に、またそれぞれ単独に取り出せるようにし、またネオンランプを用いた電流断続検出装置の併用や陽極の接地で電流の断続や誘導電流の影響の防止につとめた。

2) 電気麻酔器は陽極接地し、コンデンサーを介して陰極をも接地して従来の術式により窩洞形成を行うと症例の81.3%に除痛効果が認められ、患者を接地しない対照群の除痛効果73.1%に対して危険率20%で有意の差が認められた。

3) 窩洞形成時に電流断続検出装置を作動させるとネオンランプの点滅による電圧の変化のため麻酔電流が動揺し、除痛効果は68.8%に低下した。

4) 切削工具に関係なく被検歯の歯頸部歯肉縁より陽通電を行う新しい術式を試み116例中87症例(75.0%)に除痛効果を認めた。その至適電流値は16~18 μ A であつた。

5) 歯頸部歯肉縁よりの陽通電で人の歯(74歯)の電気刺激に対する痛み閾値が明らかに上昇することを認めた。

6) in situ の犬の下顎犬歯を用いて歯頸部歯肉縁と口角部に0.3Vの交流電圧を与え、歯頸部歯肉縁と歯頸部歯髄および根尖部歯髄との間の電位差を測定した結果、歯頸部よりエナメル質、象牙質を通して歯髄方向へ麻酔を起すに充分な電流が送られることを知つた。

7) 歯頸部歯肉縁よりの通電は電流の断続の心

配もなく、手術が極めて自由に行われ、しかも従来の電気麻酔とほぼ等しい除痛効果が得られるので電気麻酔の術式を極めて容易にすると考えられる。

稿を終るにあたり、終始親切なる御指導と御校閲をいただいた鈴木賢策教授に心からの感謝を致します。また統計学的処理にあたり御教示下さつた医学部公衆衛生学教室前田博教授、種々御指導いただいた東北大学歯学部砂田今男教授、小嶋大吾ならびに黛嘉泰前講師に感謝申し上げます。あわせて症例収集に御便宜をいただいた鈴木彦幸博士、戸村二郎博士、安藤昌男博士、麻酔器の組立に御協力いただいた若井清氏、実験に際して種々御指導いただいた松元仁講師、堀内博講師はじめ第三歯科保存学教室各位に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 鈴木賢策：電気麻痺法による新しい象牙質除痛法，口病誌，19：59，1952.
- 2) 鈴木賢策：電気麻酔について，口病誌，34：159，1967.
- 3) 長田 保：電気麻酔法による象牙質除痛法の歯髄に及ぼす影響について，口病誌，25：40，1958.
- 4) Grasser, H. und Kothe, W. : Elektroanästhesie zur Erzielung von Schmerzfreiheit, D. D. Z., 4 : 801, 1955.
- 5) Ochiai, S. : Improvements on apparatus of Electro-anesthesia, 東医歯大 Bulletin, 6 : 231, 1959.
- 6) 小嶋大吾：高速切削時における除痛法としての電気麻酔，日保歯誌，7：130，1965.
- 7) 大竹知世，長田保，井上雅臣，西堀雅夫：陽電通による鎮痛，歯界展望，13：895，1956.
- 8) 川口叔宏，黛嘉泰，小嶋大吾，安田英一，駒村太千：電気麻酔法の術式と装置の改良について，日保歯誌，9：290，1967.
- 9) 黛 嘉泰：電気抵抗測定による小窩裂溝齲蝕の診断法，日保歯誌，7：50，1964.
- 10) 鈴木賢策，木村一雄，石川信昭：電気麻痺法の基礎的実験，口病誌，19：208，1952.
- 11) 鈴木賢策：電気麻痺法 Electoro-anesthesia の理論と応用，日本歯科医師会雑誌，5：354，1953.
- 12) 藤森聞一，松尾正之：医学エレクトロニクス（操担道他編），1956，南山堂，48頁.
- 13) 大久保信一，板倉一民，吉村重夫，漆崎倫子：電気無痛治療器の使用時に於ける精神電流現象に就いて，歯科学報，53：844，1953.

- 14) 鈴木賢策：Iontophorese に関する実験的研究，口病誌，16：411，1942.
- 15) 原 節男：電気麻痺法に関する研究 脊髓蛙の興奮抑制について，口病誌，21：102，1954.
- 16) Klein, H. and Amberson, R.： A physico-chemical study of the structure of dental enamel, J. Dent. Res., 9：667，1929.
- 17) Applebaum, E.： Concerning the permeability of human enamel, J. Dent. Res., 11：611，1931.
- 18) 桐野忠大：人のエナメル質の低石灰化帯と過石灰化帯，口腔衛生会誌，12：1，1962.
- 19) 鈴木賢策，黛嘉泰：新しい齲蝕診断法，日本歯科評論，294：9，1967.