- and recording student progress, *Adventure in American Education* 11 : 6, 1942.
- 31) 田中秀雄：個性の研究，東京，昭12，東宛書房，165頁。
- 32) 太城藤吉：作業の習熟に関する一実験，*労働科学* 20 : (11) 1, 昭18。
- 33) 大城藤吉：バーンズ，作業動作研究，東京，昭18，東洋書館，25頁。
- 34) Thorndike, E. L.: *Fundamentals of Learning*, Columbia Univ. Press, 1932, p. 5.
- 35) 時実利彦：皮膚感覚，東京，1952，中山書店，23頁。
- 36) 竹内硬：学級社会の心理，東京，昭28。金子書房，63頁。
- 37) 田間義一，訳：技術の精神，東京，昭16，科学主義工業社，104頁。
- 38) 上野義雄：作業動作に関する実験的研究，*労働科学* 12 : (4) 1, 昭10。
- 39) 上野義隆，暉峻義等：作業速度に関する研究，*労働科学*，7 : (1) 87, 昭5。
- 40) 吉田章信：体力測定，東京，昭19，弘道館，157頁。
- 41) 吉井直三郎：疲労判定法，東京，昭22，創元社，115頁。
- 42) 横田象一郎：クレペリン，内田，精神作業検査法解説，東京，昭29，金子書房，17頁。

歯髓炎の保存的療法の基礎的研究 (特に歯牙硬組織の電気化学的性質に關聯して)

大 竹 知 世

東京医科歯科大学 保存学教室 (主任 檜垣教授，指導 鈴木教授)

東京医科歯科大学 第二理工学教室 (指導 山賀助教授)

Fundamental Study on the Conservative Treatment of Pulpitis (Especially, to the Electro-Chemical Nature of Tissue of Tooth)

Tomoyo Ōtake

From the Department of Operative Dentistry and the Department of Dental
Technology, Tokyo Medical and Dental University

(Prof. R. Higaki, Prof. K. Suzuki and Assis. Prof. R. Yamaga)

According to the recent conception of the vital reactions which occur in injured or inflamed pulp tissue, it is known that the pulp tissue is endowed the power, enough to protect and recover it'sself from injury or inflammation.

But the conservative treatment of pulpitis is so difficult that the pulpectomy or pulpotomy prevails generally as therapeutic methode in daily practice.

The difficulty of the treatment of pulpitis lies in that the inflammation is apt to get worse rapidly and the treatment is not carried out without irritating the pulp seriously, for it is surrounded by the hard tissue.

In such cases, it seems that the treatment of pulpitis is possible to perform without giving any irritation to the pulp, if the causes or complications of inflammation such as,

bacteria, toxin and the high inner pressure of the pulp chamber are able to be subsided by means of application of the direct current.

Therefore, author observed how the electroosmosis in wide sence, is conducted in both extracted human teeth and dog's teeth in situ.

And the result were as follows.

- 1) The healthy dentin (ζD), coloured hard carious dentin (ζK), combined material of dentin and cement (acquired at the wall of the root canal) or cement only (ζZ) and pulp-tissue (ζp) etc. are electrically charged negative in the solvent at about pH 7.0 and the comparison of each zeta-potential is ranged as shown $|\zeta D| > |\zeta Z| \approx |\zeta K| \gg |\zeta p|$.
- 2) The zeta-potentials of the dental hard and soft tissues show no considerable difference between human and dog.
- 3) The more the pH inclines to alkalic in the solution between a range of pH 4.3 to 11.2, the higher towards negative the zeta-potentials become.
- 4) Cation (Ni^{++}) is most quickly transported in human dentin and follow anion (Cl^{-}) and neutral substance (HCHO) by either cataphoresis or electroosmosis.
- 5) Anion is so quickly transported in dentin by direct current as to pH inclines to acidic and cation or neutral substance is transported so quickly as to pH inclines to alkalic.
- 6) It is observed in the extracted human teeth that the anodal application of direct current to the occlusal cavity, filled with physiological saline solution raises the inner pressure of the pulp chamber and the cathodal application on the contrary, decreases the inner pressure of the pulp chamber.
- 7) And also observed in dog's teeth in situ, that the anodal application of direct current to the cavity decreases the inner pressure of the pulp chamber and the cathodal application on the contrary, raises the inner pressure of the pulp chamber.
- 8) To treat pulpitis, the anodal application of the direct current is considered to be favourable.

I 緒 言

歯髄が一度炎症に陥ると局所解剖学的の關係により治癒は極めて困難であり一般に止む得ず歯髄の全摘出又は一部除去療法が行われている。歯髄は歯の栄養、知覚を司り変性に陥つた後でも硬組織の形成を継続すると云われるのでできるかぎりその保存を計るべきである。近來の歯髄の生物学的研究⁷⁾によれば歯髄組織自体は可成の防禦力ならびに修復能力を持つてることが明かにされているので炎症歯髄も何等かの手段で原因を除去し安静を与えるならば治癒すべき筈である。治

癒が難しいと云うのは口腔内にあり硬組織の外廓にとりかこまれている狭少な組織に対する処置が更に炎症歯髄に刺激を加えることになつたり、或は新たな感染を起す危険が多いことにも起因する。即ち歯髄炎の保存的療法では、感染の危険を避け、歯髄炎の原因やこれに随伴する循環障害を除くことが可能であることが好ましい。上述の手段として象牙質壁を隔て窩洞より歯髄へ直流を通電し無刺激性化学療法剤を歯髄へ導入したり、歯髄より窩洞方向に細菌毒素の抽出、滲出液の移動を惹起し、髓腔の内圧を降下せしめたり、直流の鎮

静、鎮痛作用や生体組織の賦活作用により、歯髄炎を保存的に処置することが考えられる。直流による歯髄炎の処置法として従来報告されているものには、Marshall²²⁾(1920)の陽通電による歯髄炎の鎮静療法と、Bleichsteiner³⁾(1937)の急性歯髄炎の処置として髄腔穿孔により内圧の降下を計り、沃度イオン導入で感染象牙質並びに歯髄の消毒を計る試みがある。いずれもその後の報告はなく成果は不明である。Marshall²²⁾の術式は、当時流行した平流療法を単に歯科治療に応用を試みたものと思われるが、平流療法の実施に臨床上幾多の矛盾が見られたために中止されると共に歯科応用も杜絶したものと思われる。とにかく通電は象牙質、セメント質などの硬組織を透して行われるので、これら硬組織の電気化学的性質をよく知り硬組織の隔膜を透して歯髄に広義の電気浸透が如何に行われるかを知ることがある。私は象牙質、ならびに象牙質セメント質複合体(根管壁)等の硬組織、又は歯髄の電気化学的性質の研究(Zeta-電位測定)を行い更に通電の方法を研究し、直流による歯髄炎の保存的療法の基礎になる2-3の知見を得たので報告する。

II 実験方法と実験成績

A) 歯牙組織の Zeta 電位測定(エナメル質を除く)に関する研究。

象牙質の電気抵抗、(Adler¹⁾1937)象牙質内の電流の経路は鈴木³⁰⁾³¹⁾(1942)により大体明かにされ、電流は象牙細管や、基質小線維の裂隙を通ると云われている。これらの通路を経て如何に電気浸透や電気泳動が行われるかを知するためには象牙質等の基質と組織液との界面電気現象を知ることが必要である。そこで電気浸透法、電気泳動法、流動電位測定などの2-3方法で象牙質、象牙質セメント質複合体等の Zeta-電位測定を行つた。

1) 電気浸透法による測定

〔実験1〕

実験試料；人の象牙質切片；抜去後直に生理的食塩水に投入した臼歯の歯冠部を0.9%食塩水中でダイヤモンドジクスで横断し約1mmの厚さ

に作り、更に断面に食塩水を注ぎ乍ら砥石で平らにした(0.7mm~1.0mm)切片。

液体試料、蒸留水、生理的食塩水、人血清の3種を用いた。

図 1

h...水位の上昇 h'...水位の下降
h+h'=水位の差 G...硝子管
D...象牙質切片 S...液体 E...塩化銀電極
W... Wax

実験方法；図1に示す如く内径約4mmのL字型硝子管(G)2個の間に象牙質切片(D)を狭み、まわりをWax(W)封じ、中央部に象牙質の隔膜のあるU字管を作りその両脚に上述の液体試料(S)を満し、それぞれの液体の高さをほぼ等しくしてから、塩化銀電極又はZn-ZnSO₄不分解電極(E)を挿入する。電極挿入により、両脚(G)の水位の差が出来た時は、U字管の背面に設けた目盛板を参照して水位を補正した。その後0.5~10mAの電流を15~80分間通じ両脚(G)の水位の変化により象牙質隔膜を透しての水分の移動を観察した。

実験成績；表1に示す如く、蒸留水、生理的食塩水、人血清のいずれも、その水位は陰極側が上昇し、陽極側の水位が下降した。即ち液体は陽極側より陰極側に象牙質隔膜を透して移動したことを意味する。従つて液体は(+)に、固体の象牙質は(-)に帯電していることが判つた²⁶⁾。

管壁象牙質セメント質複合体 (T_2) を透して水分は陰極側の窩洞側に移動し管中の水位は上昇し、陽極側硝子管の水位は下降する。歯根側(表のW)より陰通電を行うと水位の移動方向は反対となる。この両脚側の水位上昇値と下降値の絶対値を加えて水位の差として測定するならば (T_1) 隔膜 (T_2) とで見られた水位の差を比較すると注目すべき結果が認められた。即ち同じ電気量ではいずれの場合も (T_1) における電気浸透度が (T_2) におけるそれより大きかつた²⁶⁾。

2) 流動電位による測定

〔実験1〕

実験試料; a) 象牙質薄板; 試料は大臼歯部を横断して象牙細管が薄板の断面を縦に貫くようにした。試料の厚さは $0.92 \sim 0.35$ mm のものを用いた。

b) 根管壁の薄板(象牙質セメント質複合体); a)と同じ歯の歯根部を2つに縦断して象牙質面を研磨し根表のセメント質部はそのまゝにしたものを用いた。試料はなるべく象牙細管や Sharpey 氏線維が板面を縦に貫く試料をえるようにした。

c) 液体試料は pH 6.8 の生理的食塩水を用いた。

図 3

G…検流計 R…臨界制動抵抗 E…白金電極
P…ゴム板(パッキング) D…隔膜 S…液体
A…加圧コース K…三叉硝子コック M…圧力計
H…窒素ガス B…加圧コース

図 4

A…L字状硝子管 B…ゴム板(パッキング)
C…象牙硬組織薄板

実験方法; 図3, 図4の如き, 内径約4 mm のL字型の硝子管内に渦巻型白金電極(E)を封入したものを組合せてU字管を作り, 接合部に上述の試料(D)を挟んで隔膜にする。隔膜の左右の硝子管に生理的食塩水(S)を満し, 電極をガルバノメーター(G)に連結して, U字管の液体を一方から加圧して固体試料の細隙細管中の液体を移動せしめて, 帯電した液の移動することにより隔膜の両側の電位差を見る。加圧は図3の如き圧力計(M)を附した窒素ガスポンプ(H)を用いた。ポンプとU字管の接続は3ヶの三叉硝子コック(K)を図3のように連結しU字管内の液体の加圧方向を任意に変換することができるようにした。電位差の測定は 10^{-9} A の感度を有する可動コイル検流計とスケールを用いて電流の方向と大きさを知った。(検流計は予め電池に継ぎ電流の流れる方向と検流計の動く方向を調べておく。加圧は圧力計を調節し $1/2, 1 1/2, 2, 2 1/2, 3$, 気圧とした)。

実験成績; 図5のように図3のAコースより加圧すると, 圧にはほぼ正比例して検流計の動きが大となり加圧した側の電極が(-)に窩底壁象牙質隔膜を隔てた反対側の電極(+)がとなるような電位差を生じた。逆の(Bコース)方向より加圧すると電位差の現れ方は, 上述と全く反対になり加圧の大きさと, 検流計の動きはほぼ正比例して大きくなった。(図5の縦軸は加圧の大きさ, 横軸は

図 5

スケール板に投影する検流計の動く幅をあらわす。表の左右の A, B, C, D, E は同一隔膜をあらわして、これらの線はそれぞれの加圧における検流計の動きの最小自乗法による直線である。以上は象牙質隔膜であるが、根管壁象牙質セメント質複合体も、同様なことが見られた。以上の事実より加圧による膜の両側に生ずる電位差は流動電位^{17) 26) 28) 34)}であることは疑もなく、生理的食塩水中にこれら 歯牙硬組織が在る時、液体は(+)に、歯牙硬組織は(-)に帯電していることを知った。

〔実験 2〕

実験試料； 実験 1 と同じ方法で、年齢 21~65 歳の齲蝕のない大臼歯 12, 小臼歯 4 本より、a) 窩洞底の象牙質板並びに、b) 根管壁の象牙質セメント質の複合体を作り、同一歯牙よりえた a) と b) とが大体同じ厚さになるように努め 0.9~0.6 mm とした。液体試料は pH 7.0 (硝子電極式 pH メーターによる測定) 比電導度 0.0013 mho/cm, (横河万能抵抗測定器による) 濃度 M/100 の第 1, 第 2 磷酸ソーダの混合緩衝液を用いた。

図 6

実験方法； 実験 1 とほぼ同じであたがこの場合は、電位差測定に、図 6 及び図 7 の如き UX-54 真空管電圧計を用いた。即ち硝子管中の白金電極を甘汞電極に変え、一極をコントロールグリッドに、一極を陰極につなぎ増幅して検流計(G)で測定した。測定に先立つて、図 6 の回路の如く 1.5 V 電池を電源として分圧器、ミリボルトメーターにより既知の電圧を与えて検流計の動きが、スケール板 2 mm が 1 mV の電位差を示すようにし

図 7

A・・・検流計 B・・・12V 電池 C・・・UX-54 真空管電圧計 D・・・窒素ガスポンプ、圧力計 E・・・投光器、スケール板 F・・・分圧器、ミリボルトメーター

た。液体試料は予め 20°C に保ち室温も 20°C とした。

実験成績：表 3 はスケール板で直接測定した

表 3 各種 pH 緩衝液中の象牙質 (D) 及びセメント質を主とした歯質 (D+Z) の 3 気圧加圧、減圧下の流動電圧

液体 の pH	18.623±0.07mm		18.926±0.09mm		18.924±0.07mm		17.627±0.09mm	
	D mV	D+Z mV	D mV	D+Z mV	D mV	D+Z mV	D mV	D+Z mV
11.2	5.5	1.5	5.5	1.5	4.0	1.0	5.5	1.5
9.0	12.0	1.5	11.7	1.5	12.0	1.0	14.0	1.5
7.0	7.0	1.5	7.0	1.5	7.0	1.0	7.5	1.5
5.0	4.0	1.5	4.0	1.5	4.0	1.0	4.0	1.5
3.0	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5	1.0	3.5	1.5
4.3	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5	1.0	3.5	1.5
液体	18.925±0.08mm		17.623±0.05mm		17.630±0.08mm		17.627±0.07mm	
の pH	D mV	D+Z mV	D mV	D+Z mV	D mV	D+Z mV	D mV	D+Z mV
11.2	5.5	1.5	5.5	1.5	6.0	2.0	6.5	2.0
9.0	11.0	1.5	10.5	1.5	11.0	2.0	11.0	2.0
7.0	7.0	1.5	7.0	1.5	7.0	2.0	7.0	2.0
5.0	4.0	1.5	4.0	1.5	4.0	2.0	4.0	2.0
3.0	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5	2.0	3.5	2.0
4.3	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5	2.0	3.5	2.0
液体	15.660±0.05mm		15.665±0.08mm		15.660±0.07mm		15.621±0.08mm	
の pH	D mV	D+Z mV	D mV	D+Z mV	D mV	D+Z mV	D mV	D+Z mV
11.2	5.5	1.5	5.5	1.5	4.0	1.0	4.0	2.0
9.0	11.0	1.5	10.5	1.5	11.0	1.0	11.0	2.0
7.0	7.0	1.5	7.0	1.5	7.0	1.0	7.0	2.0
5.0	4.0	1.5	4.0	1.5	4.0	1.0	4.0	2.0
3.0	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5	1.0	3.5	2.0
4.3	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5	1.0	3.5	2.0
液体	17.654±0.075mm		18.923±0.06mm		18.921±0.05mm		18.624±0.08mm	
の pH	D mV	D+Z mV	D mV	D+Z mV	D mV	D+Z mV	D mV	D+Z mV
11.2	6.5	2.0	5.5	1.5	5.5	2.0	5.5	2.0
9.0	13.0	2.0	12.5	2.0	13.0	2.0	11.5	2.0
7.0	7.0	2.0	7.0	2.0	7.0	2.0	7.0	2.0
5.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0
3.0	3.5	2.0	3.5	2.0	3.5	2.0	3.5	2.0
4.3	3.5	2.0	3.5	2.0	3.5	2.0	3.5	2.0

九一 歯質の厚さ

各隔膜歯質の流動電圧であり、スケール板の 1 mm を境として四捨五入した値である。隔膜の

表 4

液体 の pH	象牙質セメント質複合体 (根管壁)				窩底象牙質 (根管壁)			
	液体の 比電導率	3 気圧加圧下 の流動電位 (V)	1 気圧 減圧	ZETA-電位 (V)	液体の 比電導率	3 気圧加圧下 の流動電位 (V)	1 気圧 減圧	ZETA-電位 (V)
4.3	0.0008	0.0013	0.00048	0.00011	0.003	0.00111	0.00019	
5.0	0.0009	0.0016	0.00068	0.00011	0.0036	0.00152	0.00011	
6.0	0.0012	0.0017	0.00108	0.00013	0.0048	0.00269	0.00037	
7.0	0.0013	0.002	0.00125	0.0002	0.007	0.00393	0.00061	
8.0	0.0015	0.0022	0.00151	0.00017	0.007	0.00493	0.00067	
9.0	0.0009	0.0039	0.00163	0.0004	0.012	0.00521	0.00057	
11.2	0.0033	0.0016	0.00234	0.00046	0.005	0.00828	0.00037	

帯電性は実験 1 と同様に (－) であり、液体は (+) である。表 4 は 16 本の 歯牙の 窩底壁象牙質と根管壁セメント質象牙質複合体の流動電圧の平均値を Helmholtz^{8) 17) 28) 34)} の式に代入して得た Zeta-電位である。窩底壁象牙質のそれは $-3.93 \text{ mV} \pm 0.61$ (平均値) であり根管壁象牙質セメント質複合体の Zeta-電位は $-1.25 \text{ mV} \pm 0.2$ (平均値) であつた。(但し水の透電恒数、粘度、液の比電導率は夫々 20°C としての値を代入した)。

3) 電気泳動法による測定

歯質内部に起る電気浸透 (広義) をよく理解する為には歯髓や、歯周組織の Zeta-電位も知り硬組織のそれと比較して推理を進める必要があるが、軟組織の Zeta-電位は、流動電位法で測定できないので予め、硬組織の Zeta-電位を電気泳動法によつても測定することにした。この際は健康の象牙質、セメント質の他に齶蝕象牙質も測定の対照とした。

実験材料：年齢 19～16 歳の齶蝕のない大白歯 2 本、小白歯 2 本、前歯 3 本、齶蝕症 2 度程度の大臼歯 6 本、小白歯 4 本、前歯 2 本を生理的食塩水中で、ダイヤモンドポイントで健康象牙質、齶蝕象牙質の深部で着色のある硬い部分、セメント質を夫々個々の容器中に削り、上澄の生理的食塩水を流して沈澱した歯牙の粉をピペットにて吸上げ、pH 7.0 (硝子電極式 pH メーターによる測定) 濃度 2 M/1000 第一、第二磷酸ソーダ混合緩衝液に入れ、よく振蕩したものを用いた。

実験方法：実験装置は、図 8 の如く、限外顕微鏡を用いて直接泳動速度を測定する一般的な顕微鏡法を用いたので装置等は特に記載しない。但し本装置の係数は次の如きものであつた。

図 8

A…限外顕微鏡 B…泳動管 C…光源装置
D…電源装置

U (電気泳動度 cm/sec) $= l/t/E/L = 1.94 \times 10^{-2}/t/E/3.6$ (但し l (cm) 粒子の移動距離, t は l だけ粒子の動く時間 (秒), L (cm) は極間の距離, E (V) は極間の電位差)。

測定は、1) 予め蒸留水で数回洗滌し、泳動管中の一方の硝子コックを開け、歯質粉末懸濁液を入れ電圧を与える。2) 懸濁液中の歯質粒子が泳動管中を泳動する1個の粒子の速度を測つた。3) 2)を10個又は20個の粒子について行いその平均を測定値とした。又電流の方向を測定毎に切換えて液の流動による誤差並びに液の組成の変化が起きるのを防いだ。

泳動速度より Zeta-電位の換算は Helmholtz の^{8) 17) 28) 34)}式によつた。(但し水の透電恒数、粘度は 20°C の値を用いた。このため液体の温度を 20°C に保ち室温も 20°C とした)。

実験成績；表5はスケール10目盛(0.0194cm)を各歯牙硬組織粒子が電気泳動する速度(秒)及びこの速度の算術平均を Zeta-電位に換算したものである。健康象牙質の Zeta-電位は -42.32 mV、齲蝕象牙質は -37.73 mV、セメント質は -31.09 mV、であつた。以上の値を統計学的検定を行つた処、健康象牙質の Zeta-電位は、セメント質のそれより大であり、齲蝕象牙質とセメント質の Zeta-電位の間には分散に差があるので平均値の検定を行うのは不適であつた。

B) 歯牙硬組織の Zeta-電位と液体の水素イオ

表5 スケールの 0.0194 cm を電気泳動する Dentin, Karies Dentin, Zement の速さ(秒)

No	PH 5.5			PH 7.0			PH 8.5		
	D	K.D	Z	D	K.D	Z	D	K.D	Z
1	7.0	8.0	7.0	6.0	6.0	7.0	5.0	6.0	6.5
2	6.0	8.0	6.0	5.0	6.0	7.0	5.4	6.3	6.7
3	6.3	7.0	7.0	6.0	7.0	7.0	5.2	6.5	6.5
4	6.6	6.5	7.6	6.5	6.5	7.2	5.2	6.5	6.5
5	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	4.9	6.0	6.0
6	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.1	6.0	6.0
7	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.1	6.0	6.0
8	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.1	6.0	6.0
9	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.1	6.0	6.0
10	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.1	6.0	6.0
統計学的検定	Zeta-電位(mV) D(-38.05) > Z(-29.67) F18(0.05) = 4.41 F18 < 28.9 K.D(-32.49) ≠ Z(-29.67) F18 > 0.57			Zeta-電位(mV) D(-42.32) > Z(-31.09) F18 < 96.5 K.D(-37.73) > Z(-31.09) F18 < 20.8			Zeta-電位(mV) D(-45.15) > Z(-38.15) F18 < 10.9 K.D(-40.98) ≠ Z(-38.15) F18 > 0.09		

ン濃度との関係

実験Aで象牙質ならびに象牙質セメント質の複合体は(一)に帯電して、これら硬組織に(+)イオンが透過しやすいことが判つたが、溶媒の pH 変化によりこれら硬組織の Zeta-電位が強い影響を受けることが考えられる。殊に治療を行わんとするところが、齲蝕象牙質であつたり、歯髓が急性炎症状態にあるなどの病態により又は、使用する薬剤の pH により Zeta-電位の変化を予知して適当な薬剤を選択したり、局所の pH を変えて薬剤の透過を助けること等が必要となる。そこで溶媒の pH を変えて Zeta-電位の変化を観察し更に溶媒の pH と電解質の隔膜を透して行われる電気泳動の速度の関係を見た。

1) 流動電位法による歯牙硬組織の Zeta-電位と液体の pH との関係

実験材料；隔膜試料は実験Aの2)の(2)と同じものを用いた。

液体試料は M/100, Na_2CO_3 , M/100 NaHC O_3 , M/100 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, M/100 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ の緩衝液の各種混合液にて pH 11.2, 9.0, 8.0, 7.0, 6.0, 5.0, 4.3 の7種の液体を用いた。なおこの試料の pH は硝子電極式 pH メーターで決定した。又上記の7種の液体を 20°C において横河の万能抵抗測定器により比電導度を測定したところ、0.0033(pH 11.2), 0.0009(pH 9.0), 0.0015(pH 8.0), 0.0013(pH 7.0), 0.0012 (pH 6.0), 0.0009 (pH 5.0), 0.0008(pH 4.3) であつ

た。(比電導度の単位は mho/cm)

実験方法； 実験 A の 2) の〔2〕と同じ方法を用いた。但し同一歯牙硬組織隔膜を pH の異つた溶液中で 7 回実験が行われるので、その際前に行つた実験の影響が次の測定に及ぼす影響をなるべく少なくするために、一つの測定が終つたら直ちに隔膜歯質を U 字型硝子管から取り除き、流水中で 4～6 時間洗い流し次に測定すべき pH 緩衝液中に 2 時間ひたしたものを実験に用いた。なお全実験が終るまで 1 週間以上もかゝつた隔膜歯質は実験から除外した。

実験成績； 表 3 は直接測定した流動電圧でいづれの歯牙からえた隔膜歯質も pH 11.2 から pH 4.3 の液体中にあるときは(－)に帯電している。表 4 は 16 本の歯牙の 窩底壁象牙質と根管壁象牙質セメント質複合体の流動電圧を Helmholtz の式に代入して得た Zeta-電位である。但し水の透電恒数、粘度はそれぞれ 20°C とする値を代入した。図 9 は表 4 の値をグラフに表わしたもので

図 9

細い線は最大、最小値をあらわし、太い線は平均値を示す。即ち窩底壁象牙質も根管壁象牙質セメント質複合体も共に Zeta-電位は pH 11.2 から

pH 4.3 の間では(－)に帯電し溶媒の水素イオン濃度がアルカリ性に傾く程(－)の荷電電圧は大に、酸性になる程小になつた。又窩底壁象牙質の Zeta-電位は根管壁象牙質セメント質複合体のそれの約 3 倍の大きさの(－)の荷電電圧を示した。

2) 電解質等の溶媒の pH と象牙質隔膜を透して行われる電気泳動速度の関係

a) 実験材料

隔膜試料； 抜去直後より 3 日間以内の年齢 21～55 歳の齲蝕のない歯牙よりえた厚さ 1.12～0.34 mm の象牙質横断切片。

図 10

A,B・硝子箱 C,D・寒天橋 E,F・水槽
G・ゴム板(パッキング) H・隔膜(象牙質切片)

溶液試料； 図 10 の如く A 側は電流で輸送せしめる溶液として中性物質を含めて次の 3 種類を用いた。

1) 中性物質； 0.1 M $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 0.1 M NaHCO_3 , 0.1 M Na_2CO_3 を種々混合し硝子電極式 pH メーターで pH 5.0, 7.0, 9.0 に修正した 1 容量%局方ホルマリン生理的食塩水溶液。(各 pH 修正によつてもホルマリンの含有量の等しいことは定量により確めた)。

2) 負イオン； CO_2 ガス, 0.1 M Na_2HCO_3 , 0.1 M NaCO_3 にて pH 5.0, 7.0, 9.0 に修正した 0.15 M NaCl 。(各 pH 修正にても Cl が等しく含有されていることを定量により確めた)。

3) 正イオン； 0.1 M $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 局方アンモニヤ水にて pH 5.0, 7.0, 10.0 に修正した 0.12 M $\text{Ni}(\text{NH}_4)_2 \cdot (\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。(各 pH 修正にても Ni の含有が等しいことを確めた。なお本溶液のみは pH 9.0 では沈澱を生ずるので pH 10.0 を用いた)。

B側はA側から電気滲透によりはこばれたときこれを受けて上記3物質の定量を容易にする溶液として次の3種類を用いた。

1) Aの1)を用いるときは pH 6.5 の生理的食塩水。

2) Aの2)を用いるときは pH 5.8 の 0.15 M KNO_3 。

3) Aの3)を用いるときは pH 6.5 の 0.06 M NaCl 。

図 11

A・・・象牙質板 B・・・ゴム板(パッキング)

b) 実験方法

図 10 及び図 11 の如く 2 個の硝子箱 (3 cm^3) の一側に各々直径約 7 mm の孔をあけ、開孔部の間に象牙質隔膜(H)を挟む、この際硝子箱と象牙質板の間を気密にするためその間にゴム板(G)を挟んだ。次に A, B 箱に上記の組合せの溶液を 8.6 cc づゝ入れ、図に示すように寒天導子(C, D)で継ぎ直流約 4 mA 60 分間通じ、通電後 A より B に中性物質や電解質が移動した量を測定した。電極については、ホルマリンの場合は A 側を陽極に B 側を陰極とする。負イオン Cl^- の場合は A 側を陰極に B 側を陽極とする。又正イオン Ni^{2+} の場合は A 側を陽極に B 側を陰極とした。なお対照実験として上記の通電方法と全く反対に電極を継ぎ約 4 mA $\times$ 80 分の通電を施したり、全然通電せず、180 分間放置した後、B 側溶液より A 側への中性物質や電解質の移動の有無及び量等を測定した。

附記； 同一象牙質隔膜を pH の異つた溶液中で 3 回実験を行うのでその際、前に行つた実験の影響が次の測定に及ぼす影響をなるべく少なくするために次の如き注意が払われた。

1) ホルマリン測定の場合； 実験直後象牙質をとり出し流水中で 2～3 時間洗滌し次に測定しようとする同じ pH 生理的食塩水中約 2 時間浸しこの生理的食塩水を KMnO_4 滴定法を行い、 HCHO 無含有の生理的食塩水と等しい値を持つ迄洗滌し次の実験に用いる。

2) Cl^- の測定の場合； 通電前 2～3 時間象牙質板をつぎつぎに容器を変えて、新しい蒸留水で洗滌し、 Cl^- を除き AgNO_3 滴定法を用いてその蒸留水中の Cl^- を検出出来ぬ迄充分に洗いその後約 2 時間次に測定しようとする pH と同じ pH の 0.15 M KNO_3 に浸したものをを用いる。

3) 正イオン Ni^{2+} ； 通電後直ちに象牙質板は流水中で 2～3 時間洗滌し、その後蒸留水中に投入しその蒸留水をジメチルグリオキシム法（極微量検定法）で Ni^{2+} の無いことを確認して次に測定しようとする pH と同じ pH の 0.06 M NaCl に 2 約時間浸しこのものをを用いた。なお寒天導子(C, D)は Cl^- イオン測定時には 0.15 M KNO_3 寒天導子を用いたが、他の場合は生理的食塩水寒天を用いた。

C) 定量法

1) HCHO の定量； KMnO_4 滴定法を用いた実験時期は実験適温 30°C 内外の夏期と色調の測定光線が可及的に一定であるように白昼の北側光線を選んだ。

2) Cl^- の定量； K_2CrO_4 溶液を指示薬として、 AgNO_3 規定液の滴定法を用いた。

3) Ni^{2+} の定量； ジメチルグリオキシム法の秤量法によつた。

d) 実験成績

1) HCHO ； 表 6 の如くいずれの場合も pH をアルカリ性に溶媒を傾けると B 側より多くの HCHO を定量し得た。平均値（グラフの点線）を示すと、A 側溶液の溶媒の pH 5.0, 7.0, 9.0,

表 6

FORMALINの電気泳動速度と溶媒pHとの関係

No	溶媒 の pH	象牙質の 厚さ mm	気温 °C	資料5ccに要する KMnO ₄ 量 cc	FORMALDCHYD量 mmol/4mA・h
1	9.0 7.0 5.0	0.86	31	0.41 0.21 0.14	0.000705 0.000361 0.000241
2	9.0 7.0 5.0	0.40	30	0.61 0.41 0.27	0.001050 0.000705 0.000464
3	9.0 7.0 5.0	0.58	32	0.44 0.24 0.15	0.000757 0.000413 0.000258
4	9.0 7.0 5.0	0.85	31	0.70 0.41 0.25	0.001200 0.000705 0.000430
5	9.0 7.0 5.0	0.59	33	0.31 0.25 0.21	0.000533 0.000430 0.000361
6	9.0 7.0 5.0	0.85	32	0.35 0.24 0.16	0.000602 0.000413 0.000275
7	9.0 7.0 5.0	0.55	31	0.60 0.36 0.19	0.001200 0.000610 0.000327
8	9.0 7.0 5.0	0.61	31	0.35 0.25 0.15	0.000602 0.000430 0.000258
9	9.0 7.0 5.0	0.40	30	0.72 0.44 0.25	0.001240 0.000757 0.000430
10	9.0 7.0 5.0	0.99	29	0.69 0.40 0.25	0.001170 0.000688 0.000432

(A側も陽極にB側も陰極に連結し直流通電を施した時)

電流4mA, 通電期間60分,

対照1) A側-陰極 B側-陽極 電流4~10mA 通電期間60~180分
資料5ccに要するKMnO₄量は生理的食塩水5ccに要すると等しい。
0.10~0.15ccである2) 通電せず180分放置する場合資料5ccに要するKMnO₄量は
0.11~0.18ccである。

のときのB側溶液中のHCHO濃度は、 344×10^{-6} mol/4 mA・h, 550×10^{-6} mol/4 mA・h, 912×10^{-6} mol/4 mA・hであつた。対照実験で通電せず180分間の放置でも又電極の継ぎ方を全く反対に結んだ場合にも、HCHOを含まない生理的食塩水と殆んど等しく、KMnO₄反応消費量は0.1~0.18ccであつた。

2) Cl⁻; 表7の如くいずれの場合も溶媒のpHの低い程、即ち酸性に傾く程B側より多くのCl⁻を定量しつた。平均値(グラフの点線)は、A側溶液の溶媒pH 5.0, 7.0, 9.0時の電気泳動によりB側にはこぼれたCl⁻の濃度は夫々 967×10^{-7} mol/5 mA・h, 901×10^{-7} mol/5 mA・h, 812×10^{-7} mol/5 mA・h, であつた。対照実験では通電せず180分間放置の場合検定液5ccに要したAgNO₃量は0.33~0.44ccであり、電極を正反対に継ぐ時は蒸留水と殆んど等しい0.13~0.25

ccのAgNO₃消費量であつた。

3) Ni²⁺; 表8に示す如くいずれの場合もpHが高い程すなわち溶媒がアルカリ性程B側溶液から多くのNi²⁺を定量した。平均値(グラフの点線)を見るとA側溶媒のpH 5.0, 7.0, 10.0の時のB側溶液中のNi濃度は 466×10^{-6} mol/5 mA・h, 570×10^{-6} mol/5 mA・h, 774×10^{-6} mol/5 mA・hであつた。対照実験ではB側液中よりいずれの場合もNi²⁺の存在を確かめなかつた。

C) 直流通電による歯髄内圧の変化

窩洞に薬液を満して窩洞より歯髄に直流を送るとき、電流は窩壁の象牙質を透して歯髄腔に至り歯髄腔より髄腔壁の象牙質セメント質の複合体の隔膜を通して歯根膜腔に達する。即ち歯髄腔は窩洞壁の象牙質と髄腔壁との2つの隔膜で隔離された腔と考えられ、この2種の隔膜の持つZeta電位これらを通過する電流密度や、このものゝ電

表 7

CHLOR イオンの電気泳動速度と溶媒 pH との関係

No	溶媒の pH	象牙質の厚さ mm	気温 °C	資料 5cc に要する AgNO_3 量 cc	CHLOR 量 $\frac{\text{Mol}}{5\text{mA}\cdot\text{h}}$
1	9.0	0.98	29	3.52	0.0000860
	7.0			3.85	0.0000940
	5.0			4.14	0.0001020
2	9.0	0.84	31	2.97	0.0000725
	7.0			3.31	0.0000808
	5.0			3.50	0.0000856
3	9.0	0.39	29	2.17	0.0000723
	7.0			3.19	0.0000774
	5.0			3.69	0.0000801
4	9.0	0.94	28	3.65	0.0000891
	7.0			3.94	0.0000962
	5.0			4.18	0.0001021
5	9.0	0.93	31	3.95	0.0000965
	7.0			4.29	0.0001048
	5.0			4.41	0.0001077
6	9.0	1.12	31	3.38	0.0000826
	7.0			3.58	0.0000874
	5.0			3.95	0.0000965
7	9.0	1.02	28	3.39	0.0000828
	7.0			3.54	0.0000865
	5.0			3.92	0.0000957
8	9.0	1.25	25	2.91	0.0000711
	7.0			3.19	0.0000779
	5.0			3.62	0.0000884
9	9.0	0.98	25	3.71	0.0000906
	7.0			4.24	0.0001036
	5.0			4.42	0.0001080
10	9.0	1.03	25	3.13	0.0000764
	7.0			3.69	0.0000950
	5.0			3.99	0.0000970

(A側と陰極にB側を陽極に連結し直流通電を施した時)

電流 5mA 通電期間 60分

対照 1) A側 陽極 B側 陰極 電流 5mA 通電期間 80分

資料 5cc に要する AgNO_3 量 0.13~0.25cc である。2) 通電せず 180分放置 置ける場合は資料 5cc に要する AgNO_3 量は 0.33~0.44cc である。

表 8

NICKEL イオンの電気泳動速度と溶媒 pH との関係

No	溶媒の pH	象牙質の厚さ mm	気温 °C	資料 5cc に要する NICKEL 量 g	NICKEL 量 $\frac{\text{Mol}}{5\text{mA}\cdot\text{h}}$
1	10.0	1.05	20	0.00250	0.000733
	7.0			0.00156	0.000457
	5.0			0.00134	0.000393
2	10.0	1.08	20	0.00234	0.000686
	7.0			0.00167	0.000489
	5.0			0.00122	0.000357
3	10.0	0.87	20	0.00248	0.000727
	7.0			0.00179	0.000524
	5.0			0.00146	0.000428
4	10.0	0.98	22	0.00232	0.000679
	7.0			0.00167	0.000489
	5.0			0.00142	0.000416
5	10.0	0.99	22	0.00291	0.000853
	7.0			0.00248	0.000727
	5.0			0.00185	0.000542
6	10.0	0.42	23	0.00299	0.000876
	7.0			0.00240	0.000803
	5.0			0.00199	0.000583
7	10.0	1.03	23	0.00276	0.000809
	7.0			0.00197	0.000577
	5.0			0.00156	0.000457
8	10.0	0.94	20	0.00284	0.000832
	7.0			0.00228	0.000668
	5.0			0.00182	0.000533
9	10.0	0.81	20	0.00278	0.000815
	7.0			0.00193	0.000565
	5.0			0.00146	0.000428
10	10.0	0.82	21	0.00248	0.000727
	7.0			0.00179	0.000524
	5.0			0.00132	0.000387

(A側と陽極にB側を陰極に連結し直流通電を施した時)

電流 5mA 通電期間 60分

対照 1) A側 陰極 B側 陽極 電流 5mA 通電期間 80分

2) 通電せず 180分放置

以上二つの場合の資料 5cc 中には $(\text{CH}_3)_2\text{C}_2(\text{NOH})_2$ を加へても鮮紅色の沈澱を認めず。したがって秤量し得ず。

気抵抗により内部に水分やイオンの蓄積か、又は減少が起り内圧が変化を起すことも考えられる。

(歯髓炎の処置と云う点では勿論内圧の降下が好ましいことである)。従つて次の如き実験を行つて見た。

1) 通電による人の抜去歯牙の歯髓腔内圧の変化

〔実験1〕

図 12

G・・・硝子管 T・・・隔膜 S・・・生理的食塩水
L・・・小硝子管 H・・・水銀 K・・・生理的食塩水寒天
E・・・塩化銀電極 W・・・Wax

実験方法； 齲蝕のない人歯牙の咬合面に窩洞を形成し、根尖孔部を約10%生理的食塩水寒天(K)で閉鎖し歯頸部附近の根壁より歯髓に達する小孔を穿ち、内径約1mm 長さ約3cmの小硝子管(L)の一端を挿入し、この小硝子管をWax(W)で固定する。この管中に生理的食塩水(S)を注入し、食塩水柱の長さは歯髓腔壁より1.5cmになるようにして外側に1滴の水銀滴(H)が内方又は外方へ移動することにより判るようにする。

このように準備した歯牙(T)を図12の如き、一端に釣鐘状の膨隆部があり、その内部に塩化銀電極(E)をとり附けてある硝子管(G)の間に挟む、両管に生理的食塩水(S)を満して咬合面に窩洞のある歯牙(T)を隔膜としたU字管にする。この管の両脚の水位を等しくしてから通電を始めU字管内の水の移動、ならびに歯髓腔内の内圧の変化を同時に観察する。

実験成績； 表9の如く窩洞側を陽極に、歯根側を陰極に継ぐとき小硝子管の水銀滴は歯牙面より外方に移動する(図13の1)。即ち歯髓腔内圧が上昇することが判明した。又U字管全体として

表 9

番号	窩洞側の水位の上下 mm	歯根側の水位の上下 mm	歯髓腔内圧の上昇 mm	窩洞側の水位の上下 mm	歯根側の水位の上下 mm	歯髓腔内圧の降下 mm	備考
1	1	2	3	0	1	3	0.5mA 30分 18
2	2	1	1	0	0	1	
3	1	1	0	0	1	1	
4	1	1	0	0	1	1	
5	1	1	0	0	1	1	
6	2	0	0	0	1	0	0.5mA 30分 71
7	1	0	0	0	1	0	
8	1	0	0	0	1	0	
9	1	0	0	0	1	0	
10	1	0	0	0	1	0	
11	1	0	1	2	1	0	0.5mA 30分 16
12	1	0	1	1	1	0	
13	1	0	1	2	1	0	
14	2	0	1	0	2	0	
15	1	0	1	1	1	0	
16	1	0	1	0	1	0	
17	1	0	1	0	1	0	
18	1	0	1	0	1	0	
19	1	0	1	0	1	0	
20	2	0	3	0	1	2	

は、水は歯根側に移動し陰極側の水位が上昇する。反対に窩洞側を陰極にして通電する時、水銀滴は内方に移動し歯髓腔内圧が下降し、水分は陰極側に移動する。

即ち陰極側の脚の水位が上昇する。(図13の3)、(図13の2は通電前)

〔実験2〕

実験方法並びに実験材料

実験1で窩洞に陽通電を行うとき歯髓腔内圧が上昇し陰通電を行えば内圧が下降することが判つたが、通電により歯髓腔の内圧を下降させることが出来れば通電は内圧の上昇により容易に循環障碍を起し壊死に陥る歯髓炎の処置法として極めて有効であると思われるので、U字管を用いる実験

図 13 通電中(窩洞側・陰極, 歯根側・陽極) 3 ← 通電前 2 → 通電中(窩洞側・陽極, 歯根側・陰極) 1
(水銀滴が内方に移動し, U字管の水位が陰極側が上昇し, 陽極側が下降している)
(水銀滴が外方に移動し, U字管の水位が陰極側が上昇し, 陽極側が下降している)

図 14 N・不分極電導子 R・硝子リング S・生理的食塩水 W・Wax A・硝子板 T・隔膜(抜去歯牙) H・水銀 L・小硝子管 G・10%生理的食塩水ゲラチン B・硝子ビーカー E・塩化銀電極

図 15

1と同様な歯牙を図14の如く10%生理的食塩水ゲラチン(G)を満したビーカー(B)中に樹て, 模型を更に生体に近づけ窩洞に生理的食塩水(S)を満しこれを直流電源の陽極又は陰極に継ぎ, 食塩水ゲラチンを陰極又は陽極に継いで通電し歯髓腔内圧の変化を観察した。実験に使用した歯牙は年齢18~45歳の患者より得た年齢蝕のない抜去直後の歯牙10本(前歯1, 小白歯3, 大白歯6……図15)であつた。同一歯牙で窩洞に陽通電と陰通電を交互に行いおのおのの通電毎に内圧の変化を前述の生理的食塩水(S)を満した硝子管中の水銀滴(H)の移動によつて観察した。実験は各歯牙につ

図 16 通電中(窩洞側・陰極, 歯根側
・陽極) 3
(水銀滴が内方に移動している)

← 通 電 前 2 →

通電中(窩洞側・陽極, 歯根側・陰極) 1
(水銀滴が外方に移動している)

表 10

窩洞側電極を陽極に結ぶ場合										窩洞側電極を陰極に結ぶ場合									
No	電流の強さ mA	通電時間 分	通電電圧 V	内圧変化の測定 の値 mm	電圧 V	電流の強さ mA	通電時間 分	通電電圧 V	内圧変化の測定 の値 mm	電圧 V	電流の強さ mA	通電時間 分	通電電圧 V	内圧変化の測定 の値 mm	電圧 V	電流の強さ mA	通電時間 分	通電電圧 V	内圧変化の測定 の値 mm
1	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
2	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
3	0.5	60	3.0	+2	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
4	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
5	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
6	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
7	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
8	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
9	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
10	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
11	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
12	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
13	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
14	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
15	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
16	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
17	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
18	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
19	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
20	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
21	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
22	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
23	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
24	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
25	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
26	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
27	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
28	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
29	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
30	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
31	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
32	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
33	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
34	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
35	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
36	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
37	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
38	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
39	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
40	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
41	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
42	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
43	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
44	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
45	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
46	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
47	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
48	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
49	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1
50	0.5	60	3.0	+1	6	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1	5	0.5	60	3.0	-1

いて 10 回ずつ行つた。この際電流の強さは 0.5 mA 又は, 1 mA 通電時間は 15~180 分であつた。

実験成績;

表 10 の如く窩洞に陽通電と陰通電を交互に行

い歯髓腔内圧の変化を 100 回測定した結果, 陽通電の場合(図 16 の 1)一様に内圧の亢進を, 陰通電では一例を除き, 全例に内圧の下降が見られた。(図 16 の 3) (図 16 の 2 は通電前) 使用電氣量と内圧の変化は大体平行するようであるが明かでない。又同じ電氣量では表 11 のように弱い電流を長時間通電した方が, 強い電流を短時間通電するより, 内圧の変化は大きいように思われた。

表 11

電流の強及び通電時間と歯髓内圧変化との関係

No	電流の強さ mA	通電時間 分	通電電量 mA・分	窩洞側陰極連結 時の水銀液下降値 mm	窩洞側陽極連結 時の水銀液上昇値 mm
1	0.5	30	15	-1	+1
2	0.5	60	30	-1	+1
3	0.5	180	90	-2	+2
4	0.5	200	100	-3	+3
5	1	30	30	-1	+1
6	1	60	60	-1	+1
7	1	100	100	-1.5	+1.5
8	1	100	100	-2	+2
9	2	7.5	15	-0.5	+0.5
10	2	15	30	-1	+1
11	2	45	90	-1	+1
12	2	50	100	-2	+2
13	3	5	15	±0	±0
14	3	10	30	-0.5	+0.5
15	3	30	90	-1	+1
16	3	35	105	-1.5	+1.5
17	4	4	16	±0	±0
18	4	6	24	-0.5	+0.5
19	4	10	40	-1	+1
20	4	25	100	-1.5	+1.5
21	5	3	15	±0	±0
22	5	5	25	-0.5	+0.5
23	5	10	50	-1	+1
24	5	20	100	-1.5	+1.5

内圧の変化は 1 mm の硝子管の食塩水柱が 1~6 mm 移動する程度であつた。

附記; 人の歯髓組織の Zeta-電位の測定
実験材料;

歯髄は臨床的にほぼ健康と思われる年齢21～38歳の前歯6，小臼歯4を局所注射麻酔のもとで全摘出し直に生理的食塩水中で洗ったものか，

図 17 犬の生体歯牙に直流を通じた場合の歯髄腔内圧の変化

CT・・・ゴム管 S・・・生理的食塩水 T・・・小硝子管
H・・・水銀 W・・・Wax G・・・不活電極 V・・・ワセリン

又は4～5℃に保存を約3時間行つた歯髄を乳鉢中で良くすりつぶし pH 7.0 の緩衝液を入れ懸濁液を造る。

実験方法；

実験装置及び測定法は（実験Aの3）と同様の方法で行つた。

実験成績；

極転換を行い各々20回ずつ測定してその算術平均の泳動速度を実験装置の係数に代入しそれをHelmholtzの公式でZeta-電位に換算した値である。即ち人の歯髄組織はpH 7.0の緩衝液中では $-14.26\text{ mV} \pm 0.41$ であつた。

II) 通電による生体歯牙の歯髄腔内圧の変化

前述の如く抜去人歯牙の咬合面窩底象牙質を透して歯髄に直流を送る時髄腔内圧の変化が見られたが，この現象が in situ の歯牙でも同様に見られるかどうかを成犬の in situ 歯牙で試めた。

実験方法；

実験動物1～2歳の成犬(2匹)，実験に使用した歯牙は実験に容易の犬歯を用いた。図17の如

く塩酸モルヒネ麻酔のもとに歯冠の唇側に象牙質に達する窩洞を形成する。同時に歯肉縁より約3 mm 上部に，径約1.5 mm の小孔を穿ち歯髄腔に達せしめる。歯髄よりの出血は H_2O_2 の綿球で軽く圧迫して止血し，次で70%アルコールで小管内を拭い軽く熱気で乾燥する。長さ約3 cm の内径1 mm の硝子管(T)の一端を前述の小孔に挿入して，硝子管と歯質の間にWax(W)を流し込み歯質に気密に固定する。注射器で生理的食塩水(S)を硝子管内に歯髄面より約2 cm のところまで満した後食塩水(S)柱の外側面を水銀滴(H)で封ずる。水銀柱の長さは約2 mm として水銀滴の外側を小硝子管上に刻印しておき通電前の歯髄の内圧の示標とする。歯頸部の周囲よりやや小さいゴム管の小片(G,T)を用いて図の如くゴム管の下縁が歯頸部近くの歯冠面を密に抱き込むようにする。この際歯冠面とゴム管内面にワセリン(V)を塗布してあとにゴム管内に満す生理的食塩水と歯肉やゴム管で被覆しない歯面との間の絶縁を完全にする。このように準備した後ゴム管内に生理的食塩水(S)を満し，この生理的食塩水を直流電源の一極に継ぎ，他の一極(G)を歯肉の粘膜面に連結して直流を送つて前述の硝子管内の水銀滴の移動によつて歯髄腔内圧の変化を観察した。(表12では水銀滴が外方に移動する場合を+)，内方に動くとき(-)としその幅をmm であらした)。この際用いた電流の強さは2 mA か又は3 mA であり，通電時間は5分又は10分間として，1回の通電後約5分間休止して極転換を行い

表 12

犬の生体歯牙に直流を通じた時の歯髄腔内圧の変化

No.	実験法	歯牙に接する電極の電圧	電流の強さ mA	電圧の時間	歯髄腔内圧の亢進 (4)T度(-)低mm(A)	判 断 (5) (通電による効果による内圧の変化)	A-B
1	□ ♂	(+)	(+)	10分	+5 +0 0	10分間：+3.5 mm	+3 mm +3 mm -3 mm
2	□ ♂	(+)	(+)	10分	+2 +4 -2	10分間：+3 mm	+1 mm +1 mm -5 mm
3	□ ♂	(+)	(+)	10分	+2 +1 -1	10分間：+2 mm	+1 mm +1 mm -3 mm
4	□ ♂	(+)	(+)	10分	+3 +1 -2	10分間：+2 mm	+2 mm +2 mm -4 mm
5	□ ♀	(+)	(+)	10分	+3 +1 -2	10分間：+2 mm	+2 mm +2 mm -4 mm
6	□ ♀	(+)	(+)	10分	+1 +1 -0	10分間：変化なし	+1 mm +1 mm 0

陽通電と陰通電の差異を観た。

実験成績；表 12 の如く *in situ* の犬の歯では人の抜去歯を用いた 模型実験(実験 C の I) で得た結果とやゝ反対の現象が観られた。即ち陰通電では一様に内圧が亢進し、陽通電では一部(12 例中 7 例)に内圧の下降が見られた。この場合通電を行わず放置しても歯髓の内圧は多くの場合次第に亢進するのを観た。自然の歯髓腔内圧の亢進を差引で見ると実験番号 1 では陰通電 15 mA 分で水銀滴の移動は +3 mm, 陽通電では -2 mm となる。以上の如く人の抜去歯牙の場合と全く逆の結果をえた。

附記；人の歯牙と犬の歯牙歯質の電気化学的(Zeta 電位)性状の差異。

抜去直後の人の歯と犬の歯を用いて実験 A の 3) と同じ方法でそれぞれの象牙質, セメント質, 歯髓の Zeta-電位を測定した。成績は表 13 の如く象牙質とセメント質ではほぼ等しく統計学的検定でも差異は認められず、歯髓では人の歯髓に比較して犬の歯髓の Zeta-電位が多少大きい(負において)。しかし上述(実験 C の II) の如く、人の抜去歯牙でえられた(実験 C の I) 結果と全く逆の結果をえられる程の差異はない。

表 13

スケールの 0.0194 cm を電気泳動する人並びに犬の Dentin, Zement, Pulpa 等の速度(秒)

No.	Dentin (PH 7.0)		Zement (PH 7.0)		Pulpa (PH 7.0)	
	Human	Dog	Human	Dog	Human	Dog
1	5.00	7.00	7.00	7.00	14.5	12.0
2	5.00	7.00	7.00	7.00	14.5	12.0
3	5.00	7.00	7.00	7.00	14.5	12.0
4	5.00	7.00	7.00	7.00	14.5	12.0
5	5.00	7.00	7.00	7.00	14.5	12.0
6	5.00	7.00	7.00	7.00	14.5	12.0
7	5.00	7.00	7.00	7.00	14.5	12.0
8	5.00	7.00	7.00	7.00	14.5	12.0
9	5.00	7.00	7.00	7.00	14.5	12.0
10	5.00	7.00	7.00	7.00	14.5	12.0
統計学的検定	Zeta-電位 (mV) Human (-42.32) = Dog (-40.98) F18 (0.05) = 4.41 F > 1.75		Zeta-電位 (mV) Human (-31.09) = Dog (-32.09) F18 (0.05) > 1.31		Zeta-電位 (mV) Human (-14.26) Dog (-15.13) F18 (0.05) < 65.9	

III 総括並びに考按

1) 急性歯髓炎も早期に自然に口腔と交通して開放状態になり循環障害が除かれた場合は急性症状は頓挫し慢性歯髓炎となり、これが根尖孔の大なる生活力旺盛の歯牙では増殖性歯髓炎に移行するから然らざる場合も、潰瘍性歯髓炎となることは衆知の事実である。潰瘍性歯髓炎も口腔よりの感

染や、機械的・化学的刺戟に抗しながら、潰瘍面近くに生活断髓法に見られるような、硬組織の形成を創傷治癒を行わんとする傾向を示すものが多く、一度炎症に陥つた歯髓は失われた器官であると云われた歯髓にも、顕著の自然防禦、ならびに修復能力を有することが明かにされている²⁰⁾。このように防禦ならびに修復能力を示す歯髓も局所解剖学的の関係で、歯髓に新たな感染や激しい機械的・化学的、温熱的の刺戟を加え、一時的にせよ炎症を激化して、一層危険にさらすことなく、上記の如き、慢性炎症状態に誘導して治癒状態に導くことは必ずしも容易でない。Bleichsteiner³⁾ (1937) は髓腔を穿孔し内圧の下降をきたさしめて消炎を計る試みを行つてゐるが、所期の成果はえられなかつたようであり、炎症歯髓の保存的処置としては炎症歯冠歯髓を除去して歯根歯髓を保存する生活断髓法即ち一部除去法が時に行われるに過ぎず多くの場合は歯髓の全剔出が行われている現状である。よつて私は急性歯髓炎の場合、髓腔穿孔などの機械的刺戟の加重をさけ、歯髓の消毒を刺戟なく行つて歯髓の負担を軽減しながら自然治癒に導く手段として電気浸透(広義)の応用を志し、窩底象牙質層を透して直流を送る時、象牙質並びに歯髓腔内に如何なる変化が起るかを抜去人歯牙並びに犬の *in situ* の歯牙に就いて観察した。

2) 電流はエナメル質では小柱鞘を (Applebaum²⁾ 1931), 鈴木³⁰⁾ (1942), 象牙質では象牙細管、基質小線維と基質の間隙を通過すると云われている (鈴木³⁰⁾ 1942)。即ち電流は硬組織中の有機成分に富む部分を通過することが解る。このような歯牙硬組織は多孔質の膜として考えられ、硬組織の隔膜を通して薬液、歯髓内の水分等の移動を通電により行わんとするとき先ず隔膜の Zeta-電位が水分、溶質の移動、薬剤の浸透の難易等の決定に大きな役割をもつことは明かである。歯牙硬組織の Zeta-電位に関して私の文献渉獵の範囲内では、Entin^{6) 24)} (1927), Klein^{11) 13) 14) 15) 34)} (1929, 1932) と増原²³⁾ (1951) 等の報告があるが実験は主としてエナメル質の帯電性に関して電気浸透法、電気泳動法によつて観察しているに

過ぎず、象牙質、セメント質等の Zeta-電位については報告がないようである。

人の窩底象牙質(ζ_D)歯根壁の象牙質セメント質複合体及びセメント質(ζ_Z)齲蝕象牙質の堅い層(ζ_K)等の各種歯牙硬組織の Zeta-電位を、電気浸透法、電気泳動法、流動電位法で測定し、これら 3 方法の測定を総合すればこれら歯牙硬組織は人血清、生理的食塩水、0.01 M 磷酸ソーダ緩衝液(pH 7.0 附近)中では(一)に帯電し、その Zeta-電位を比較すれば $|\zeta_D| > |\zeta_Z| \approx |\zeta_K|$ の関係にあることを知った。なお測定法中流動電位法によるものが最も自然の歯質に近い Zeta-電位であろうと思われる。この方法によると pH 7.0 の磷酸ソーダ緩衝液中で象牙質の Zeta-電位は $-3.93 \text{ mV} \pm 0.61$ であり、象牙質セメント質複合体の Zeta-電位は $-1.25 \text{ mV} \pm 0.20$ で象牙質の Zeta-電位の約 $1/3$ 程度である。

3) Klein¹²⁾(1932)によれば 磷酸カルシウムは 0.1 N 塩化加里中では pH 3.6 より酸性では(+)に帯電し、アルカリ性側で(一)帯電し、あたかも両性質のような性状を示すと云われており、溶液の pH は歯牙硬組織の Zeta-電位に著しい影響のあることが推定される。

歯質の帯電性と液体の pH との関係については Klein^{11) 13) 14) 15) 16) 24)}(1932)の犬の歯牙エナメル質を種々なる pH 緩衝液中で電気浸透、電気泳動、膜電位測定を行い、電気浸透法では pH 4.0~4.9 の間に、電気泳動法では pH 3.6 附近に等電点が見られ、エナメル質は、これよりアルカリ性側では(一)に、酸性側では(+)に帯電していると述べている。又膜電位による測定では pH 4.35 ± 0.02 に等電点があると報告している。

増原²³⁾(1951)は人の歯牙エナメル質の電気泳動により溶液の pH の変動から帯電符号を変換することはないと云っている。私は生理的食塩水中に保った象牙質並びに象牙質セメント質複合体切片を種々なる酸度の 0.01 M 磷酸緩衝液又は 0.01 M 炭酸緩衝液中に 2 時間浸して後、流動電位法によつてこれら歯牙硬組織のもつ Zeta-電位を測定した。pH 11.2~4.3 の緩衝液中では、これらの硬

組織片はいずれも(一)に帯電していることを知った。液体の pH と Zeta-電位の関係は液体がアルカリ性に傾く程 Zeta-電位は(一)に大きくなり、反対に酸性に傾く時は小さくなった。この結果は電気泳動による測定でも同様であつた。

4) Candy⁵⁾ ならびに Bernier⁵⁾ によれば齲蝕深層の脱灰層の酸度は pH 5.5 から 4.7 であると云われ、又 Prader²⁵⁾ によれば正常歯髄は pH 6.8~7.05 で中性であり種々なる炎症状態にある歯髄は pH 5.5~7.8 で急性炎症歯髄は酸性に傾くものがやゝ多く、慢性炎ならびに石灰沈着等の変性歯髄はアルカリ性を示すものが多いと云われている。従つて象牙質並びに象牙質セメント質複合体は in situ の状態で帯電に多少の変動があつても殆んど常に(一)に帯電していると考えてよい。(一)に帯電している多孔質の隔膜は一般に正イオンを透過しやすいことが知られているが、治療の目的により主に負イオンの作用に期待するものゝ薬剤や、帯電のない中性物質を使用することがあるので正イオン(Ni^{+})、負イオン(Cl^{-})、中性物質(フォルマリン)を用いてこのような薬剤を電気泳動により象牙質の隔膜を透して歯髄に輸送するに有利な方法を検討した。

(一)に帯電した多孔質中正イオンが透過し易い理由として孔壁の帯電と反対の荷電をもつ正イオンは容易に孔中に入りえるが、同種の荷電をもつ負イオンは反撥されて入り難くなると云われている¹⁰⁾。

前述の如く溶媒の pH を変え象牙質を隔てゝ薬剤の電気浸透速度の測定を試みた。溶媒の pH がアルカリ性を示す程正イオンは速かに陽極側より象牙質層を通過して陰極面に達する。

負イオンの場合は逆に溶媒の pH を酸性にすることにより速かに輸送される。中性物質は水の移動と共に輸送されることになるので、象牙質が(一)帯電の場合は陽極より陰極へ、(+)帯電の場合は陰極より陽極へ輸送されることになるが、溶媒を象牙質が溶解し始める程度の酸度(pH 5.0)とすると通電を行つても自然に放置した対照と差異がなく、象牙質を隔膜とするとき、溶媒をアル

カリ性にすることが有利であることが判った。どのように溶媒の pH を変化させても、象牙質を透して電気泳動により輸送される容易さは、正イオン、負イオン、中性物質の順である。正イオンのサンプルとして用いた Ni^{2+} は負イオンのサンプルとした Cl^{-} よりかはるかに小さい易動度を持ち、水和し易い性質¹⁰⁾を持つているにもかかわらず、同じ電気量で Cl^{-} の約 5～10 倍も輸送されることは、象牙質の消毒又は、象牙質を透して歯髄に薬剤を滲透せしめようとするとき、如何に正イオンを用いことが有利であるかを示すものと思う。このことは又単にイオン導入についてのみでなく、単純な貼葉の場合にも同様な関係にあり、従来象牙質の消毒剤として $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+\text{OH}^-$ が強い滲透性を示した^{29) 30) 31)} こともよく理解することができる。

5) 上述の如く象牙質ならびに象牙質セメント質複合体はその界面で(一)に帯電しているのでこれらの硬組織の隔膜を隔てて直流を通电すると、水は陽極側から陰極側へ移動することが判る。新しい抜去歯牙に窩洞を形成し生体で窩洞より歯髄方向へ直流通電を行う状態に近い模型実験を行うと、水分は窩洞に陽通電を行うと歯根外表へ、陰通電を行うと窩洞内へ移動する。この際の歯髄腔の内圧は窩洞に陽通電を行うと内圧は上昇し、陰通電を行うと著しく下降することが判った。このことは硬組織に取り囲まれて腫脹することを許さない炎症歯髄を歯髄穿孔の如き危険の操作を加えることなく、内圧を下降せしめて危険な循環障害をとり除くに極めて有効なる手段となるものゝ如く考えられる。電気滲透の応用殊に窩洞よりの陰通電は従来の如何なる方法より有望な歯髄炎の処置法となり得る。

陽通電も陰通電も移動する水分の絶対量は等しいのに、通电法の違いが歯髄腔の内圧に何故全く異つた影響を及ぼすかは、窩底象牙質(ϵ_D)歯髄(ϵ_P)根管壁の象牙質セメント質複合体(ϵ_Z)等の Zeta-電位の差位により影響されるように思われる。これら Zeta-電位は上述の如く $|\epsilon_D| > |\epsilon_Z| > |\epsilon_P|$ の関係にあり ϵ_D は ϵ_Z の約 3 倍の強さであるの

で窩洞に陽通電を行うときは、窩洞より歯髄内に入る水分の量が歯髄内より根表外に出る水分の量より量的に多いので、歯髄腔内の液圧が上昇し内圧が亢進するものと考ええる。逆に陰通電は歯髄腔内圧を下降するものと考ええる。根尖孔の大きい根の未完成の歯牙でも歯髄組織の Zeta-電位が根壁の持つ Zeta-電位より遙かに小さいのでなお一層著明に水分の移動差による内圧の変化が見られることになる。

6) 上述の如く抜去歯牙窩洞より直流を通ずる時歯髄腔内圧が陽通電の場合は上昇し陰通電の場合は下降することを知つたが、このことが *in situ* の歯で起るかどうかわる歯で観察した。

in situ の歯では陽通電の場合は内圧が下降し陰通電では内圧が上昇し全く逆の結果を得た。*in situ* の犬の歯牙と模型実験との成績の差異は人の歯牙硬組織又は歯髄の Zeta-電位と犬の歯牙のそれらとが異なるのに由来するものかを検討したが、電気泳動法によつて象牙質、セメント質、歯髄組織の Zeta-電位を測定した結果は統計的に処理して見ても、象牙質とセメント質は全く犬との間に有意の差はなかつた。歯髄では犬の歯髄が僅かに人の歯髄より(一)に大きかつたが、このために模型実験と全く逆になると云う結果にはならない。

したがつて生体歯牙に直流通電を行うとき模型実験と同様に物理現象は起つていと考えなければならないことになつた。しかるに生活歯と模型歯とに見られる全く逆の現象が起る原因の一つとしては通电による生理的反応であろうと思われる。直流の陽通電は知覚運動神経を鎮静し、陰通電は知覚運動神経の興奮性を昂めると云われており^{18) 19) 21) 27)}、内圧測定のために硝子管を髄腔内に挿入するため歯髄に損傷を与えており、この刺激が通电により刺激されて陰通電ではますます歯髄の充血をきたし陽通電では創傷の回復へ導くように考えると一応の説明がつくのではあるまいか。直流通電の創傷治癒に及ぼす影響ならびに消炎作用等極めて興味ある問題のあることを痛感する。

7) 直流の陽通電は歯髄炎を鎮静する作用があ

ることについては、古くは Marshall²²⁾ (1920) の報告があり、最近鈴木³²⁾ (1952) は通電術式を改良して物理的陽極近くに、生理的陰極の発現を防止して巧に手術時の麻酔に迄応用しており、私も陽通電が歯髄炎の鎮痛に著効があることを鈴木³³⁾らと共に数多くの経験を持つており、正イオンが象牙質隔膜を透して移送されやすいこと、生体歯牙では窩洞より陽通電が髄腔の内圧を下降しやすいこと、細菌、毒素等は多くは(一)に帯電^{35) 36) 37)}しており窩洞よりの陽通電の場合は外方に引き出されることが多いことが井上⁹⁾ (1954)らにより考えられること等より歯髄炎の処置法としては陽通電が有利であるように思われる。

IV 結 論

歯髄炎の保存的療法に直流通電を行うために象牙質壁を透して歯髄へ電気浸透(広義)がどのように行われるかを人の抜去歯牙、犬の in situ の歯に就て観察して次の結論を得た。

- 1) 健康象牙質(ζ_D)、蝕蝕象牙質の着色の堅い歯質(ζ_K)、象牙質セメント質複合体(ζ_Z)、歯髄組織(ζ_P)等は pH 中性附近の液体中では(一)に帯電しその Zeta-電位を比較すると $|\zeta_D| > |\zeta_Z| \approx |\zeta_K| > |\zeta_P|$ の関係にある。
- 2) 人と犬の歯牙硬組織、歯髄組織の Zeta-電位を比較すると両者の間には殆んど差は認められなかった。
- 3) 象牙質、象牙質セメント質複合体の Zeta-電位は pH 4.3~pH 11.2 の溶媒中 pH がアルカリ性に傾く程負の荷電電圧が大となる。
- 4) 負イオン Cl^- 、正イオン Ni^{2+} 、中性物質 HCHO を人の象牙質を介して電気泳動又は電気浸透を行うとき正イオン(Ni^{2+})が最も速かに次に負イオン(Cl^-)、中性物質(HCHO)の順に輸送される。
- 5) 負イオン Cl^- は溶媒の pH が酸性に傾く程、正イオン Ni^{2+} 及び中性物質 HCHO は溶媒の pH がアルカリ性に傾く程、象牙質内を速かに直流により輸送される。
- 6) 人の抜去歯の咬合面窩洞に生理的食塩水を

満し陽通電を施すと歯髄腔内圧は上昇し、陰通電を行うと歯髄腔内圧は下降する。

7) in situ の犬の歯牙に直流を通流するとき窩洞より陽通電を施すと歯髄腔内圧は下降し、逆に陰通電を行うと上昇する。

8) 歯髄炎の療法の目的には直流の陽通電が有利と考えられる。

稿を終るにのぞみ御校閲を賜った檜垣教授並に終始御懇篤な御指導、御鞭撻を戴いた鈴木教授、第二理工学教室山賀助教授に衷心より感謝を捧ぐ。また本研究の統計学的処理に御教示を賜った医学部衛生学教室前田助教授及び実験に御便宜を賜った材研増原教授に深謝し、終始本研究を御援助下された教室員各位に深く感謝する次第である。

(なお本研究の一部は昭和28年度、29年度文部省科学研究費により行われた)。

文 献

- 1) Adler, P.: Untersuchung über den Elektrischen Widerstand des Dentins, Z. f. Stomat. 35: 11, 761, 1937.
- 2) Applebaum, E.: Concerning the permeability of human enamel, J. D. Res. 11: 611, 1931.
- 3) Bleichsteiner, A.: Elektrosterilisation bei Pulpitis und Gangränbehandlung, Z. f. Stomat. 35: 17, 1104, 1937.
- 4) Butler, V.: Electrocapillarity, Methuen & Co. London. 92, 1940.
- 5) Canby, L. & Bernier, L.: Bacteriologic studies of carious dentin, J. A. D. A. 23: 208, 1936.
- 6) Entin, A.: Zur Physikalisch-Chemischen Theorie der Karies, Z. f. Stomat. 27: 225, 1929.
- 7) 檜垣: 口腔治療学(上), 121~130, 東京, 歯苑社, 昭23.
- 8) Höber, R.: Physical-chemistry of cell and tissues, Berlin. 328, 1947.
- 9) 井上, 大竹: 歯髄炎の保存的療法の研究(其の6)(抄)口腔科学誌, 3: 138, 1954.
- 10) 亀山: 電気化学の理論及び応用, 54~72, 313~353, 東京, 丸善, 昭21.
- 11) Klein, H. & Amberson, R.: Physico-chemical study of the structure of dental enamel, J. D. Res. 11: 5, 676, 1929.
- 12) Klein, H.: The effects of acidity and alkalinity upon the nature the electric charge resident on the particles of T. R. i-calcium

- phosphatea, J. D. Res. 12 : 85, 1932.
- 13) Klein, H. : The cataphoretic determination of the effects of pH and electrolytes on the electric charge resident of enamel, J. D. Res. 12 : 79, 1932.
 - 14) Klein, H. : The electro-endosmotic determination of the electric charge resident on the enamel, J. D. Res. 12 : 79, 1932.
 - 15) Klein, H. : The mechanism of production of membrane potential in the enamel of dogs, J. D. Res. 12 : 91, 1932.
 - 16) Klein, H. : The determination of the isoelectric point of enamel by means of membrane-potential measurements, J. D. Res. 12 : 95, 1932.
 - 17) 駒形 : 界面電気化学概要, 25~45, 61~94, 東京, 産業図書, 昭23.
 - 18) Kovács, R. : A manual of physical therapy. Lea & Febiger. Philadelphia. 113, 1944.
 - 19) Kovács, R. : Electro therapy and light therapy. Lea & Febiger. Philadelphia. 103~104, 141~143, 189, 1954.
 - 20) Kronfeld, R. : Histopathology of the teeth and their surrounding structures. Lea & Febiger. Philadelphia. 160~172, 1949.
 - 21) 真鍋, 日野 : 医学電気, 14~32, 128~131, 東京, アルス, 昭13.
 - 22) Marshall, J. : Operative dentistry. Lippincott. Philadelphia, 255~264, 1920.
 - 23) 増原 : 弗化物による齲蝕予防機構の物理化学的研究, 弗素委員会記事 1 : 3~5, 1951.
 - 24) Muhler, C., Hine, K., Day, G. : Preventive dentistry. C. V. Mosby, St. Louis. 38~40, 1954.
 - 25) Prader, F. : Diagnose und Therapie des infizierten Wurzel Kanales. Benno, Schwabe. & Co. Basel. 18~32, 66, 124, 157, 1949.
 - 26) 大竹, 井上 : 歯髓炎の保存的療法の研究, (抄), (其の3) 口腔病学誌. 19 : 207, 昭29, (其の4) 口腔科学誌. 2 : 168, 1953, (其の7) 口腔科学誌. 3 : 139, 1954, (其の8) 口腔科学誌. 4 : 212, 1955.
 - 27) 杉 : 電気緊張と平流療法, 綜合医学 4 : 355, 昭22.
 - 28) 鮫島 : 膠質学, 328~374, 東京, 裳華堂, 昭23.
 - 29) 鈴木 : 所謂アンモニヤ銀に依る根管治療法, 口腔病学誌. 15 : 237, 昭16.
 - 30) 鈴木 : Iontophorese に関する実験的研究, 口腔病学誌. 16 : 411, 昭17.
 - 31) 鈴木 : 根管治療に於けるイオン導入法, 口腔病学誌. 19 : 9, 昭27.
 - 32) 鈴木 : 電気麻痺法による新しい象牙質除痛法. 口腔病学誌. 19 : 59, 昭27.
 - 33) 鈴木, 大竹, 長田, 井上, 西堀 : 陽通電による疼痛部位鑑別, (抄) 第10回口腔科学会総会抄録, 28, 昭31.
 - 34) 武井 : 実験電気化学, 459~473, 東京, 丸善, 昭30.
 - 35) 張 : 免疫体及び破傷風毒素の Iontophorese に関する実験的研究, 千葉医学会誌. 22 : 128, 昭19.
 - 36) 渡辺 : 平流電気による細菌の電氣的移動に就て, 日本微生物誌. 16 : 443, 大正11.
 - 37) 渡邦 : 平流電気の免疫血清及び細菌体に及ぼす影響, 日本微生物誌. 17 : 656, 大正12.