テトラサイクリンによるヒト象牙質の発育線について

石川 堯雄 川崎 堅三 田中 秀

鶴見大学歯学部解剖学教室

(昭和50年1月16日受付)

On the Incremental Lines in Human Dentine as Revealed by Tetracycline Labelling

Takao Ishikawa, Kenzo Kawasaki and Syu Tanaka

Department of Anatomy, School of Dental Medicine, Tsurumi University

1. 緒 言

従来より知られている象牙質の発育線 (incremental lines of dentine) として、例えば、エブネルの象牙層板、オウエンの外形線、アンドレーゼンの線条および石灰化条などがある。しかしながら、これらの各発育線は、象牙質の全域にわたって連続的に観察することが非常に困難である。

ところが、一方、Schour (1937)¹⁾らは、脳水腫の患者 (5カ月) に両親の許可を得てフッ化ナトリウムを投与した結果得られた像を基にして、象牙質の発育パターンの模式図を描いている。しかし、これは象牙質の全域にわたった詳細な観察ではなく、非常に断片的な記載にとどまっている。

ところで、硬組織形成の時刻描記法の一つとして、近年非常に多く使用されている Tetracycline を投与すると、石灰化が進行しつつある硬組織に沈着することが知られている。また、同時に、投与量が適当であるならば、投与当時形成されつつあった硬組織は、Tetracycline 投与によってなんら形成障害を引き起さないという事実も明らかにされている²⁾³⁾。

そこで、著者らは、Tetracycline の沈着が認められたヒト抜去永久歯を用いて象牙質の発育パターンを組織学的に詳細に観察しえたのでここに報

告する。

2. 材料と方法

本研究に用いられた材料は、London Hospital Medical College の Prof. R. W. Fearnhead の好意により提供された2本以上の Tetracycline の沈着線が認められる43本のヒト抜去永久歯である。これらの歯は抜去後ただちに10%ホルマリン液にて固定されていたものである。そして、これらは硬組織薄切装置によりできる限り歯軸に平行で、かつ歯の中央部に一致する頬舌方向の薄片とし、さらに、薄片は35~50 μ m の研磨標本とした。このようにして得られた研磨標本をニコシ螢光顕微鏡 Sur-F 型を用いて観察した。

2本以上の Tetracycline のラベリング線が1本の歯の象牙質内に認められた時、それらのおののラベリング線は、Tetracycline 投与当時、石灰化が進行しつつあった象牙質の部位を示すものであるから、これら2本以上のラベリング線間の距離を若干の場所で測定し、その結果、それらの間に差が認められるならば、同一時期に作られた象牙質であっても、その位置により発育速度が異なることの証拠となりうる。

このことを明らかにする目的で、著者らは、2本以上のラベリング線間の距離を測定した。しか

しながら、実際の測定にさいし、個々のラベリング線のどの部を、どのようにして測定するかということは、かかる象牙質発育速度の位置的差違を問題とする場合には、非常に重大な要素となる。さらに、これらの測定値を推計学的に処理し、象牙質の発育速度を集団として論じようと試みるならばなおさらのことである。

鯨原 (1974)⁴⁾は、この象牙質発育速度の比較を片桐 (1968)⁵⁾の分類による象牙質各層 (すなわち、エナメル象牙境から歯髓腔壁に向って、①外套象牙質層、②大球状石灰化層、③中央均一石灰化層、④小球状石灰化層、⑤髓周象牙質層)の間で行っている。

しかし、著者らは、多くの歯を総合すれば結果的に象牙質全域に認められることになる Tetra-cycline のラベリング線を、歯冠部のもの、歯頸部のものおよび歯根部のもの (ここで、著者らのいう歯頸部とは、エナメルセメント境を中心に含む、歯全長の約 $\frac{1}{5}$ の範囲のエナメル象牙境あるいはセメント象牙境より起こったラベリング線が髓室角部に近接していて、しかも、それらのラベリング線が髓室角あるいは髓室角近くの歯髓腔壁に向って束ねられたような走向を示して終る部位である。そして、歯冠部とは、それより咬頭頂側よりの部を指し、また、歯根部とは、歯頸部より根尖

寄りの部を指す)の三群に分け、それら個々の群内で象牙質発育速度の位置的差違を検討した。

すなわち、蛍光顕微鏡写真によるプリントにおいて、各ラベリング線上にできる限り多くの針を刺し、その並んだ針に糸を沿わせて張り、ラベリング線の全長を先ず測定した。さらに、求められたラベリング線の全長を4等分して得られた3点をプリントのラベリング線上で針を刺して計測点とした。

ただし、歯冠部あるいは歯頸部の上部に見られるように、ラベリング線が一侧のエナメル象牙境より起こり、それが髓室角に終らず、それを越えて延び、反対側のエナメル象牙境に終るような場合は、咬頭頂と髓室角を結ぶ直線によりラベリング線を分割し、そのおのおのの全長を測定し、4等分した。このことは、裂溝部象牙質に見られるラベリング線においても同様で、裂溝直下の点と髓室蓋象牙質の髓室蓋の最大突出点を結ぶ直線によりラベリング線を分割し、矢張り同様におのおのを4等分して計測点を求めた。

このことを各ラベリング線について個々に行うことにより各ラベリング線の計測点が求められたことになる。このようにして、求められた各計測点から、隣接するラベリング線までの距離を象牙細管の走向に沿って計測した(図1)。かくして得

図1 計測点の求め方

られたラベリング線上の測定値を3点ごとに平均し、これらの平均値の間の差が推計学的に有意か否かを paired t-test により 歯冠部、歯頸部および歯根部について検定した。

3. 検索結果

1) Tetracycline による象牙質のラベリング線の走向について

図3は、11歳女子の上下の第1小臼歯の蛍光顕微鏡像である。Tetracycline によるラベリング線は、歯冠部では一侧のエナメル象牙境より起こり、反対側のエナメル象牙境に終る。歯根部では、歯髄側の象牙質より起こり、下外方へ向いセメント象牙境に終り、そして、セメント質へ移行している。おのおのラベリング線は相交わることなく層状に配列している。このことは、従来、組織学的観察から知られている発育線と類似なもので、Tetracycline によるラベリング線は発育線として解釈すべきものであるといえる。

上下の歯における発育線のパターンは全く等しく、また、蛍光線の強さおよび太さも相互に等しい。このことから、発育線の示すパターンは全ての歯（歯種が異なっても）を通じて一定の法則性を示していることがわかる。

さらに、これらの所見および Tetracycline の沈着の位置的差違は、年齢の判定、あるいは、同一個体の歯かどうかを決定するさいの有力な手がかりとなり、歯学のみならず法医学的にも寄与するところが大きいと言える⁶⁾。

以下、Tetracycline のラベリング線の詳細を前述の3部位、すなわち、歯冠部、歯頸部および歯根部別について述べる。

①歯冠部

咬頭頂直下に認められる発育線は、一侧のエナメル象牙境より発し咬頭頂に対して強い凸彎を示し、反対側のエナメル象牙境に終る。この部のラベリング線の連続する経過中の太さは咬頭頂における凸彎の部で最も太い。そして、この領域はいわゆる外套象牙質 (mantle dentine) に相当する(図3)。

やや下方の歯冠象牙質では、頰側のエナメル象牙境より起ったラベリング線は、咬頭頂へ向うけれども、エナメル象牙境で起こってから間もなく歯冠の外形に一致してエナメル質側への多少のふくらみを示す(図4)。そして、咬頭頂で方向を変え、頰側とは逆に多少のくぼみを示し、エナメル象牙境で終る。このくぼみは矢張り歯冠の外形に一致している(図5)。このようなラベリング線の所見は、次に述べる歯頸部に至るまでほぼ変化なく続くが、歯頸部のラベリング線の形態にじよじよに移行して行くのである。また、この部の連続するラベリング線の蛍光の強さは多少の差は認められるが、その経過中、ほぼ均一である。ここで注目すべきことは、先の外套象牙質部のラベリング像と、それよりやや下方の象牙質のラベリング像の微細構造にはかなりな差違が認められ、また一方、一本の連続するラベリング像の微細構造を観察すると、場所によってかなり変異に富んでいるということである。これらの詳細については別の論文に譲りたい。

②歯頸部

エナメルセメント境近くのエナメル象牙境より起こったラベリング線は、球間象牙質の存在する部では、咬頭頂側に対して凸な、また、歯髄腔壁に近い部では根尖側に凸なゆるやかなS字状カーブ(この度合は、歯種あるいは、一本の歯においても頰側、舌側間では多少異なる。例えば、臼歯部と前歯部とでは、前者がより彎曲度が強く、このことは歯の外形に起因するものであり、また、当然のことながら歯髄腔の形態にも大きく影響される)を描き、髄室角あるいは髄室角近くの歯髄腔壁に終る。そして、髄室角あるいは、髄室角近くの歯髄腔壁に終る部で、それぞれのラベリング線は集合し、しかも、その蛍光は極度に減弱する(図5, 6, 7)。さらに、この部に認められる所見は対応する歯冠部の部位のラベリング線の所見とは全く異なる。また、注目すべきことは、エナメル象牙境あるいはセメント象牙境より起こる部の態度がエナメルセメント境を境として異なるという事実である。すなわち、エナメル象牙境に接

する部では、ラベリング線はエナメル象牙境に対し鋭く鋭角をもって発しているが、一方、セメント象牙境に接する部では、トームスの顆粒層の位置でラベリング線は走向を変え、鉤状に折れ返り、原生セメント質あるいは第2セメント質中の弱いラベリング線へと移行する(図7, 8, 9, 10, 11)。このようなラベリング線の鉤状の折れ返りは、歯根の全体にわたり認められる。しかし、この事実は、研磨面の歯軸に対する角度により、誤った像を呈するので十分注意して研磨標本作製しなければならない。

そして、球間象牙質部に見られた咬頭頂側への凸彎は、歯根部に移行するに従ってじょじょに消失して行く(図12)。

③歯根部

セメント象牙境より起こったラベリング線は、歯頸部で述べたトームスの顆粒層部での折れ返りを示した後、前述の球間象牙質部に見られた咬頭頂側への凸彎は認められなくなり、全体としてゆるやかな弧を描きながら上行し、髓室角に終る。そして、歯髓腔壁に近接すると、ラベリング線は、歯髓腔の形態に一致した走向で髓室角に終る。さらに、この部分では、歯頸部と同様に、ラベリング線は集合し、かつ、螢光は極度に減弱する。

また、ラベリング線は、根尖に移行するに従い、彎曲の度合はじょじょに弱くなり、また、その傾きもしだいに垂直に近づく。さらに、歯冠部、歯頸部および歯根部に見られたラベリング線の長さは、歯根側へ向かうほど長くなる(図12, 13)。

2) Tetracycline のラベリング線に基く象牙質の発育速度について(表1, 2, 模式図1, 2)

表1は、方法の項で述べたようにして得られた前歯部および臼歯部における計測結果の例である。各計測値は、156倍に拡大されたプリント上での実測値で、 $\bar{x}$ は平均値を表わす。そして、R.V. は、小臼歯では裂溝部の発育速度を1.00にした時の他の部の発育速度の相対値を表し、また、犬歯では、歯冠部では尖頭部の発育速度を1.00に、歯頸部および歯根部では唇側のエナメル象牙境あるいはセメント象牙境に近い部の発育速度を

1.00にした時の他の部の発育速度の相対値を表している。このようにして得られた発育速度の相対値を模式図内に表した(模式図1, 2)。

表2は、表1における犬歯の歯冠Ⅰの部の平均値の差の検定結果である。 $\bar{y}$ は各計測値の差の平均値であり、 u^2 はその分散を示す。なお、方法の項で述べたようにして求められた頬側、舌側のおの4カ所の計測点相互間の比較である。また、ここには、材料より求められた結果のほんの1例についてのみデータを掲げたが、他の全ての歯に関する計測結果も、ほぼ同様の傾向を示した。以上の結果を基にして、以下、歯冠部、歯頸部および歯根部の発育速度について述べる。

①歯冠部

歯冠部象牙質の発育速度を比較してみると、前歯部では、切縁あるいは尖頭頂部の発育速度が最も速く、頬側および舌側のエナメル象牙境に近づくにつれて遅くなる。切縁あるいは尖頭頂部の発育速度は、エナメル象牙境付近のおよそ2倍以上の速度で進行していることがわかる。ここで、興味あることは、球間象牙質の存在する部位よりも切縁あるいは尖頭頂部の発育速度がかなり速いということであり、あらためて注目しなければならない。しかし、歯冠部の下方で、歯頸部に近付くと、頬側の発育速度のパターンに変化が現れ、球間象牙質の存在する部のやや内側の発育速度が切縁あるいは尖頭頂部に次ぐようになる。しかし、舌側の発育速度のパターンには変化が認められない。

臼歯部では、上述の前歯部の所見と全く同様であり、髓室蓋部象牙質の裂溝側約 $\frac{1}{3}$ の部の発育速度は、咬頭頂のそれよりも遅い。しかし、歯髓腔側約 $\frac{2}{3}$ の髓室蓋部象牙質では、発育速度は逆に咬頭頂部のそれに優るようになる。すなわち、髓室蓋部象牙質の裂溝側約 $\frac{1}{3}$ においては、裂溝直下の部分の発育速度が最も小さく、咬頭頂に向けてじょじょに発育速度は大きくなる。ところが、歯髓腔側約 $\frac{2}{3}$ においては、この傾向が全く逆転して、髓室蓋部象牙質の発育速度が最も大きく、咬頭頂部の象牙質に向うに従ってだんだん小

Table 1 Means (mm) and relative values of the distance between the incremental lines labelled by tetracycline

	n	BUCCAL				FISSURE or CUSP				LINGUAL			
		$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$
		R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.
Crown	8	8.63	11.44	11.69	14.56	13.88	12.56	12.31	12.00	12.38	12.56	13.50	14.63
		0.72	0.95	0.97	1.21	1.16	1.05	1.03	1.00	1.03	1.05	1.13	1.22
Neck	5	11.20	13.80	12.70	—	11.00	14.30	16.50	17.40	17.40	17.10	15.70	14.80
		0.64	0.79	0.73	—	0.63	0.82	0.95	1.00	1.00	0.98	0.90	0.85
Crown I	5	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$
		R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.	R.V.
Crown II	5	18.10	22.90	21.60	26.25	21.70	20.30	14.20					
		0.69	0.87	0.82	1.00	0.83	0.77	0.54					
Neck	4	15.38	13.00	9.88	—	11.63	12.25	14.38					
		1.00	0.85	0.64	—	0.76	0.80	0.93					
Root	2	13.50	11.25	7.25	—	11.00	13.50	14.25					
		1.00	0.83	0.54	—	0.81	1.00	1.06					

Table 2 Means and mean squares of the difference in the distance between the incremental lines and the results of paired t-test

	BUCCAL				FISSURE or CUSP				LINGUAL			
	$\bar{Z}$	u^2	$\bar{Z}$	u^2	$\bar{Z}$	u^2	$\bar{Z}$	u^2	$\bar{Z}$	u^2	$\bar{Z}$	u^2
CUSP	$\bar{Z}=14.7$ **	$u^2=10.45$ **	$\bar{Z}=5.6$ $u^2=0.80$ **	$\bar{Z}=4.0$ $u^2=1.63$ **	CUSP	$\bar{Z}=4.8$ $u^2=7.70$ *	$\bar{Z}=9.9$ $u^2=7.68$ **	$\bar{Z}=18.5$ $u^2=13.13$ **				
	$\bar{Z}=10.7$ $u^2=15.08$ **	$\bar{Z}=1.6$ $u^2=2.44$ —					$\bar{Z}=5.1$ $u^2=7.55$ *	$\bar{Z}=13.7$ $u^2=8.45$ *				
	$\bar{Z}=9.1$ $u^2=4.52$ **							$\bar{Z}=8.6$ $u^2=0.93$ **				

** : significant under 1% level
* : significant under 5% level

模式図 1 犬歯における象牙質の発育速度

模式図 2 小臼歯における象牙質の発育速度

さくることがわかる。そして、咬頭頂を越えれば、エナメル象牙境に向うに従って発育速度はじょじょに小さくなるのである。

②歯頸部

歯頸部における象牙質の発育速度を観察してみると、矢張り歯の外形に一致して、前歯部と臼歯部とでは、発育速度のパターンが異なる。すなわち、前歯部では、エナメル象牙境あるいはセメント象牙境近くで球間象牙質の存在する部の発育速

度が最も大きく、歯髓腔壁に向うに従って段々と小さくなる。

一方、臼歯部では、球間象牙質の存在する部と歯髓腔壁に近い部とが、ほぼ同じ速さで、両者にはさまれた中央部の発育速度が最も大きいのである。もちろん、歯髓腔壁に近い部の発育は、髓室角に近付くに従って、非常に小さくなって行き、髓室角部で最も小さいのである。このことは、後述の歯根部においても同様である。しかし、歯冠部では、この部に相当する象牙質の発育速度は、むしろ、他の部に優るのである。さらに、一本の連続するラベリング線が、頰側の髓室角では集合するが、舌側では、それを乗り越えて延び、集合する傾向を示さないが、この場合の発育線のパターンは、歯頸部より、むしろ、歯冠部の発育速度のパターンに従うようである(図7)。

③歯根部

歯根部にみられる象牙質の発育速度は、セメント象牙境に近い部で最も大きく、そして、歯髓腔壁あるいは髓室角に向うに従ってしだいに小さくなって行く。この傾向は、歯根部象牙質全体を通じて根尖まで変ることではない。

3) 象牙質の発育パターンについて

著者らの得た個々の材料における Tetracycline のラベリング線の象牙質内での位置は、Tetracycline 投与の時期が全く任意であるためにまちまちである。しかし、材料とした43本のヒト抜去永久歯のそれぞれを観察することにより、個々の不足を互いに補うことができた。

おのおの Tetracycline のラベリング線の特徴およびラベリング線間の発育速度についての詳細は、すでに述べた通りである。それらを十分に考慮し、総合した結果、模式図3、4に示すような象牙質発育パターンの模式図を描くことができた。さらに、Tetracycline のラベリング線を基にした象牙質発育パターンというものは、従来より知られているどの種類の発育線よりも信頼されるべきものであると考えている。

4. 考 察

Tetracycline 系の抗生物質が、ヒトや動物に投

模式図 3 前歯部における象牙質発育パターン

模式図 4 臼歯部における象牙質発育パターン

与されると、石灰化が進行しつつある硬組織内に取り込まれ、かなりの長期間、とくに歯においては、半永久的に保持され、さらに、Tetracyclineの沈着部は、紫外線照射により顕著な蛍光を発することが Bevelander(1964)⁷⁾により明らかにされた。

このようなことで、Tetracycline が、形成されつつある象牙質内に取り込まれると、石灰化進行の前線、すなわち、dentine-predentine junction

上にラベルされ、蛍光顕微鏡下で明瞭な線条として観察される。さらに、この Tetracycline のラベリング線が同じ1本の歯の象牙質内に多数みられたならば、その象牙質形成の歴史を振り返ることが可能となり、さらに、象牙質の発育パターンを知る有力な手掛りとなりうる。

また、Bevelander(1961)⁸⁾は、Tetracycline を、5 mg/kg の低投与量で5日間、ラットに投与した結果、骨格成熟に著しい障害の起こることを報告している。しかし、一方では、低投与量ならば石灰化異常を引き起こさないという大野(1970)²⁾、Boyne & Miller(1961)⁹⁾、および Johnson & Mitchell(1966)¹⁰⁾らの報告もある。ヒトの結果と動物実験(ブタ、ヤギ)の結果を比較した著者らの研究では、ヒトに投与される程度の投与量の Tetracycline は、硬組織形成障害の直接的原因となる可能性が極めて薄いことがわかった³⁾。従って、時折ヒトの歯においても蛍光線に一致する低石灰化部が認められたが、microradiograph の所見によれば、蛍光線の強さ、太さに関係なく蛍光線に一致する低石灰化部は、Tetracycline それ自体よりも、むしろ、投与当時の全身的条件によって引き起されたものと考えなければならない。従って、以上のことから、象牙質の発育線を研究する時、その marker として Tetracycline が非常に有効であるということが出来る。

本研究で使用した歯は、2本上以の Tetracycline のラベリング線が認められた43本のヒト抜去永久歯である。

1) Tetracycline による象牙質のラベリング線の走向について

Tetracycline による象牙質のラベリング線は、歯冠部では、一侧のエナメル象牙境より起こり、咬頭頂に対し凸彎を示しながら走向して、反対側のエナメル象牙境に終っている。この経過の途中で、各ラベリング線は、決して相交わることなく層状に配列しており、また、歯冠の外形と強い関連性を示す突出あるいは凹みのごとき変化を示しながら走向する。この部のラベリング線の蛍光の強さは、多少の差は認められるけれどもほぼ均一

である。そして、この部のラベリング線のパターンは、次の歯頸部のものへとじよじよに移行して行くのである。

歯頸部にみられるラベリング線は、球間象牙質の存在する部位と歯髓腔に近い部位との2カ所で彎曲を示すゆるやかなS字状カーブがそのパターンの基本である。すなわち、エナメルセメント境に近いエナメル象牙境あるいは、セメント象牙境に終るラベリング線は、球間象牙質の存在する部位で咬頭頂側に凸な歯髓腔壁に近い部では、逆に根尖側に凸な彎曲を示し、全体としてゆるやかなS字状カーブを描いて髓室角あるいは髓室角近くの歯髓腔壁に終る。そして、この部に終る時、各ラベリング線は互いに集合する傾向を示し、しかも、その螢光の強さは、極度に減弱する。この部の所見は、歯根部に至ってもほぼ同様な経過を示す。

さらに、ラベリング線の末端が、エナメルセメント境を境として異なることは興味ある事実である。すなわち、エナメル象牙境に終る部では、ラベリング線は、それに対して鋭く終っているけれども、一方、セメント象牙境の部では、トームスの顆粒層の位置で鉤状の折れ返りを示した後、原生セメント質あるいは第2セメント質内の弱いラベリング線へと移行している。このような折れ返りは、歯根部の全体にわたり明確に認められるのである。

さらに、歯根部に認められるラベリング線は、セメント象牙境より起こり、前述のトームスの顆粒層部での鉤状の折れ返りを示した後、歯頸部に見られた球間象牙質の存在する部位における顕著な咬頭頂側への凸彎を示さなくなり、全体としてゆるやかな弧を描きながら経過し、歯髓腔壁に近づくに従い、歯髓腔の形態に一致して上行し、髓室角に終る。また、歯根部のラベリング線の傾斜は、根尖側へ移行するに従い垂直に近づく。また、同時にその彎曲の度合も減少して行く。

以上のような象牙質各部のラベリング線の所見は、鯨原のものとはほぼ一致するものである。

ところで、Schour は、その著書 (Noyes' Oral Histology and Embryology, 1953)¹¹⁾で、外套象

牙質には、發育線が存在せず、しかも、通常の發育パターンに従わないと述べている。しかしながら、著者らの観察によれば、外套象牙質部にも明らかに Tetracycline のラベリング線が認められ、その他の部のラベリング線とは、その微細構造において多少の差違は示すけれども、従来から知られている發育パターンと同様であることが認められた。

さらに、歯根部において見られるラベリング線が、トームスの顆粒層部において示す鉤状の折れ返りの構造は、Tetracycline が取り込まれる結合様式から考えて、エナメル象牙境部とセメント象牙境部とで、dentine-predentine junction の最下端が垂れ下がり、セメント象牙境に向けて折れ返っていることを示している。このことは、象牙質形成過程の光顕所見からも明らかなことである。

2) Tetracycline のラベリング線に基づく象牙質の發育速度について

隣接するラベリング線相互の間隔を観察すると、肉眼的にも象牙質の位置により、間隔に差のあることが認められる。そこで、これらの間隔の差、すなわち、象牙質發育速度の位置的差違が推計学的に有意であるかどうかを paired t-test により検定した(表2)。しかし、鯨原は、マイクロラジオグラフィーの所見から象牙質を5層に分け(片桐, 1968)⁵⁾、象牙質の形成量(形成速度)の比較を上5層間、すなわち、エナメル象牙境から髓腔壁に向けて外套象牙質層、大球状石灰化層、中央均一石灰化層および髓周象牙質層の間で行っている。しかし、象牙質の發育速度の大小を正確に論ずる時、同じ時期に形成された象牙質、つまり、隣接するラベリング線間においてのみ可能で、Tetracycline 投与の間隔が全く任意によるものであるから、他の時期に作られた象牙質と比較することはできない。しかも、先の5層は、象牙質の歯冠部、歯根部の全層を通じて観察される訳ではなく、同時期に形成された象牙質を観察する時、常に5層を明確に区別することは困難である。たとえば、大球状石灰化層の最もよく発達しているのは、歯頸部および歯冠部の象牙質の表層で、歯

冠部でも、咬頭または、切縁に相当した象牙質尖端部には認められない。一方多咬頭歯の髓室蓋の象牙質にはよく発達しているが、歯根部は、大球状石灰化層を欠いているのが普通である。このように、上の5層は、象牙質全域を通じて平均的に存在する訳ではない。

そこで、著者らは、象牙質の発育速度の比較を、同時期に形成された象牙質層間で行った。その結果、同時期に形成された象牙質においても、その位置により発育速度に違いのあることがわかった。さらに、著者らは、象牙質を前述の3部(歯冠部、歯頸部および歯根部)に分けたが、各部の発育速度の傾向は、全く同じではなく、それぞれ異なる。このことから、一個の象牙芽細胞の活性は、象牙質形成の時期によってかなり異なることが想像されるが、このことに関しては今後の検討が待たれる。そして、同時期に形成された象牙質においても、異なった位置では、5%の危険率をもって推計学的に有意な差違を示した(表1, 2, 図1, 2)。すなわち、歯冠部象牙質では、発育速度のパターンが、前歯部と臼歯部とで、歯の外形に一致して、趣きを若干異にするし、臼歯部は、やや複雑になる。つまり、前歯部では、切縁あるいは尖頭頂部の発育速度が最も速く、球間象牙質の存在する部位よりもさらに優るのである。臼歯部では二つのラベリング線間の髓室蓋象牙質と咬頭部象牙質とを比較すると、その発育速度は裂溝側約 $\frac{1}{3}$ と歯髓腔側約 $\frac{2}{3}$ とではその関係が逆になっている。すなわち、裂溝側約 $\frac{1}{3}$ の部の髓室蓋象牙質の発育速度と咬頭部象牙質とでは後者が優っており、同じ線間の歯髓腔側約 $\frac{2}{3}$ の髓室蓋象牙質と咬頭部象牙質とを比較すると前者が優っているのである。

歯頸部象牙質の発育速度も歯冠部のそれと同様に、前歯部と臼歯部とでは、球間象牙質の存在する部位の発育速度が速く、歯髓腔側へ近付くにつれてじよじよに遅くなる。ところが、臼歯部では、球間象牙質の存在する部位と歯髓腔壁に近い部の発育速度がほぼ同じであり、その両者には含まれた部が最も速い。しかし、数本の連続するラ

ベリング線が、一侧の髓室角部では集合して来るが、他方の髓室角では集合せず、髓室角を乗り越えて延びている発育線パターンは、歯冠部のパターンに従っている。歯根部では、セメント象牙境に近い部の発育速度が最も優り、歯髓腔壁に近付くにつれてしだいに小さくなる。

鰐原は、歯冠部では、髓室蓋の中央部(裂溝の直下)で最も間隔が広く、咬頭頂と髓室角を結ぶ線上で最も狭いが、このような傾向も、ラベリング線が占める位置(咬合面側か、歯髓側か)によって、わずかに変化するのが認められると報告している。しかし、著者らの観察では、髓室蓋象牙質の裂溝側約 $\frac{1}{3}$ と歯髓腔側約 $\frac{2}{3}$ とでは、発育速度の傾向が、わずかに変化するというより、むしろ、全く逆転していることが認められた。つまり、髓室蓋象牙質の歯髓腔側約 $\frac{2}{3}$ では、同時期に形成されたどの象牙質の部よりも発育速度が速いことがわかった。一方、裂溝側約 $\frac{1}{3}$ では、逆に裂溝直下の発育速度が咬頭部のそれより劣り、しかも、この部では、咬頭部の発育速度が最も速い。そして、頬側、および舌側のエナメル象牙境に向ってじよじよに発育速度は遅くなる。

また、前歯部では、歯頸部においては、鰐原の言う中央均一石灰化層よりも大球状石灰化層が同時期のどの部分よりも速いという結果が得られた。このことは、歯種の違いによるのかも知れないが、現在のところ、前歯部と臼歯部の違いによるものであらうと考えている。

3) Tetracycline のラベリング線に基く象牙質の発育パターンについて

象牙質の発育線として、従来、エブネルの象牙層板、オウエンの外形線、アンドレーゼンの線条および石灰化条などがよく知られているが、これらのうち、エブネルの象牙層板とアンドレーゼンの線条は、象牙質基質線維の配列によって生ずると考えられているものである。一方、オウエンの外形線と石灰化条は、石灰化に関連して現れるものと考えられている。Tetracycline は投与時に石灰化が進行しつつある部位に選択的に取り込まれるという周知の事実から、従来の発育線と関連付

けるならば、オウエンの外形線あるいは石灰化条に類似の発育線と考えられる。

Schour は、全ての Tetracycline のラベリング線をオウエンの外形線であると解釈している¹¹⁾。しかし、ヒトの歯と動物実験によって、Tetracycline のラベリング線が、ヒトの投与量では、石灰化の異常を引き起こすとは考えられないので、Schour の解釈は適当とは考えられない。

石灰化条は、鍍銀塊染色によって得られるもので、石灰塩類の周期的沈着により生じるものと考えられ、Mummery によって初めて記載されたものである(1892¹²⁾, 1924¹³⁾)。しかし、この石灰化条は、部分的には明瞭に見ることができても、象牙質の全層にわたって連続的に観察することができない。以上のことから、Tetracycline のラベリング線を基にした象牙質発育パターンというものは、従来より知られているどの種類の発育線よりも信頼されるべきものと考えられる。

ところで、従来より知られている象牙質発育線を基にして描かれた象牙質発育パターンの模式図として、エブネルの象牙層板があるが、これは、象牙質の基質線維の配列によって得られた発育パターンであるので、著者らの、Tetracycline のラベリング線によって得られた象牙質発育パターンとは、完全に一致するとは考えられず、また、比較することも妥当ではないと考える。

しかし、Schour らは、生後5ヶ月の乳児に、4ヶ月間、計25回にわたりフッ化ナトリウムを投与し、そのラベリング線の状態から、象牙質の沈着率、すなわち、象牙質の発育を論じている。さらに、Schour らの研究は象牙質の石灰化を基礎とした象牙質発育パターンであることから、著者らの論ずる Tetracycline のラベリング線を基礎とする象牙質発育パターンとは、全く立場を同じくするので、十分比較の対象となりうる。Schour らの投与期間は、生後5ヶ月から9ヶ月の間である為に、象牙質内で占めるラベリング線の位置は、ほとんど歯根象牙質に限局されている。また、各ラベリング線の間隔を多くの場所で計測して、模式図5のような図を描いている。この図と

模式図 5 Schour らによる象牙質発育線

著者らの描いた模式図を比較してみると、まず、Schour らの模式図では、2線間の距離が象牙質の位置により異なる事実が的確に表現されていない。このことは、とくに歯冠部および歯頸部の象牙質においてそうである。また、歯根部の一部では、2線間の間隔が逆になっているものさえ認められる。また、一本の連続する発育線の傾斜および彎曲をみると、歯頸部に特徴的なゆるやかなS字状の彎曲あるいは、歯の外形に一致した凹みおよび突出の状態を見出すことができない。さらに、歯根象牙質内のラベリング線の、トームスの顆粒層部での折れ返りの状態が描かれていない。換言すれば、Schour らの課題は、あまりにも象牙質の日周期の沈着率を求めることに重点が置かれたために、石灰化象牙質の沈着率の位置的差違を理解しながらも、模式図に表わし得なかったのかも知れない。もっとも、Schour らの模式図は乳歯のものであり、著者らの永久歯の模式図とそのまま比較することにも多少問題を含んでいると思われるので、今後乳歯の発育パターンも検討したい。

5. 結 論

2本以上の Tetracycline のラベリング線が認

められた43本のヒト抜去永久歯を用いて、象牙質の發育パターンを組織学的に詳細に観察したところ、以下のような結果が得られた。

1) 象牙質全層において、Tetracycline のラベリング線の走向を観察した。そして、外套象牙質にも明確なラベリング線の存在が認められ、しかも、そのラベリング線の微細構造は、髓周象牙質のそれとは異なる。さらに、ラベリング線が、エナメル象牙境あるいは、セメント象牙境に終る部の態度が、エナメルセメント境を境として異なる。すなわち、エナメル象牙境に終る部では、ラベリング線はそれに対して鋭く鋭角を以て終わっているが、一方、セメント象牙境に終る部では、トームスの顆粒層の所ではラベリング線が鉤状に折れ返り、原生セメント質あるいは第2セメント質内の弱いラベリング線へと移行する。

2) ラベリング線間の間隔を、同時期に形成された象牙質内の各部位で計測し、發育速度を比較したところ、肉眼的にもさることながら推計学的にも有意の差が認められた。そして發育速度の差違を、前歯部と臼歯部について示した。

3) 前歯部において、歯冠部では、切縁あるいは尖頭頂部の發育速度が最も速く、頰側、舌側のエナメル象牙境に向かうに従がいじよに遅くなる。歯頸部では、球間象牙質の存在する部の發育速度が最も速く、髓室角に向かうに従って遅くなる。歯根部では、歯頸部に認められた發育速度のパターンと同じく、セメント象牙境に近い部の發育速度が最も速く、歯髓腔壁に近付くに従ってしだいに遅くなる。

4) 臼歯部では、歯冠部において、髓室蓋象牙質の咬頭部象牙質に対する發育速度が、裂溝側約 $\frac{1}{3}$ と歯髓腔側約 $\frac{2}{3}$ とでは、相互関係が逆転する。そして、歯頸部では、球間象牙質の存在する部位と歯髓腔壁に近い部との發育速度がほぼ同じで、この両者にはさまれた部が最も速い。しかし、数本の連続するラベリング線が、一側の髓室角部では集合するが、他方の髓室角部では集合せず、それを乗り越えて延びている場合の發育パターンは、歯冠部のそれに従う。さらに、歯根部の

發育速度のパターンは、前歯部のそれと全く同一である。

5) 象牙質の發育速度のパターンが、歯冠部、歯頸部および歯根部でそれぞれ異なることから、一本の象牙細管に沿った象牙質各部の間でも、發育速度が異なる。

6) ラベリング線の走向の特徴および發育速度を十分考慮し、従来から知られている發育パターンよりも信頼できると思われる發育パターンの模式図を描いた。

謝 辞

稿を終るにあたり、本研究の為に多数の材料を提供頂いた London Hospital Medical College の Prof. R. W. Fearnhead に深甚の謝意を表します。

文 献

- 1) Schour, I. & Poncher, H. G.: Rate of apposition of enamel and dentin, measured by the effect of acute fluorosis. Amer. J. Dis. Child., 54: 757-776, 1937.
- 2) 大野康亮: テトラサイクリンによる形成期硬組織のラベリング像に及ぼす諸条件について(抄). 歯基礎誌, 12: 233, 1970.
- 3) 石川堯雄, 川崎堅三, 田中 秀: 象牙質とテトラサイクリンについて(抄). 歯基礎誌, 16: 508, 1974.
- 4) 鯉原悦郎: ヒトの歯のテトラサイクリンによるラベリング像. 歯学, 62: 900-931, 1974.
- 5) 片桐正隆: 人の第2象牙質の石灰化像について. 歯学, 56: 9-39, 1968.
- 6) Cameron, G. M. & Sime, B. G.: Forensic Dentistry. London, 1974, Churchill Livingstone.
- 7) Bevelander, G.: The effect of tetracycline on mineralization and growth. In Advance. oral Biol. New York, 1964, Academic Press.
- 8) Bevelander, G.: The effect of the administration of tetracycline on the development of teeth. J. Dent. Res., 40: 1022-1024, 1961.
- 9) Boyne, P. & Miller, C. W.: A study of tooth development by tetracycline induced fluorescence. J. dent. Res., 40: 1029, 1961.
- 10) Johnson, R. H. & Mitchell, D. F.: The effect of tetracycline on the teeth and Bones. J. Dent. Res., 45: 86-93, 1966.
- 11) Schour, I.: Noyes' Oral Histology and Embryology. U.S.A., 1962, Lea & Febiger.
- 12) Mummery, J. H.: Some points in the structure and development of dentine. Phil. Trans. R. Soc., London, B, 182, 1892.
- 13) Mummery, J. H.: The microscopic and general anatomy of the teeth., 2nd Ed., Oxford Univ. Press, London & New York, 1924.

図 2 上下顎第1小白歯, 11歳, ♀, 蛍光顕微鏡像, $\times 4.8$

図 3 咬頭直下のラベリング線, 外套象牙質にも発育線が認められる。蛍光顕微鏡像, $\times 192$

図 4 歯冠部の頰側におけるラベリング線, 蛍光顕微鏡像, $\times 96$

図 5 歯冠部の舌側におけるラベリング線, 蛍光顕微鏡像, $\times 96$

図 6 図 4 よりさらに下方の歯頸部におけるラベリング線，ラベリング線はエナメル象牙境へ鋭く鋭角をもって終わっている。蛍光顕微鏡像，×96

図 8 上顎小白歯におけるラベリング線，ラベリング線は頰側の髄室角では集合するが舌側ではそれを乗り越えて延びている。蛍光顕微鏡像，×4.8

図 7 エナメルセメント境付近におけるラベリング線，蛍光顕微鏡像，×96

図 9 歯根部におけるラベリング線，ラベリング線はトームスの顆粒層部で折れ返り，原生セメント質あるいは第 2 セメント質の弱いラベリング線へ移行している。蛍光顕微鏡像，×96

図 10 歯根部における鉤状の折れ返し構造の拡大, また同時に, それに近接して平行に走る弱いセメント質内のラベリング線も観察される。Tはテトラサイクリンによるラベリング線, 蛍光顕微鏡像, $\times 480$

図 11 図10と同部位の紫外線と可視光線との同時照明によって得られた像, $\times 480$, Tはテトラサイクリンによるラベリング線, GLTはトームスの顆粒層である

図 12 歯根部におけるラベリング線, ラベリング線の彎曲および傾斜の変化が認められる。蛍光顕微鏡像, $\times 15$

図 13 歯根部におけるラベリング線, 12歳, 女 蛍光顕微鏡像, $\times 15$