原

著

歯の萌出力に関する研究

——家兔切歯による実験的研究——

伊 藤 学 而

東京医科歯科大学歯学部歯科矯正学教室（指導：三浦不二夫教授）

（昭和41年12月3日受付）

A study on the force of tooth eruption
—An experimental study with rabbit-incisor—

Gakuji Ito

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Tokyo Medical and
Dental University (Director: Prof. Fujio Miura)

目 次

I. 緒 言

- I. 緒 言
- II. 研究方法
- III. 予備実験：実験用ゴムリングの力学的性状に関する実験
- IV. 本実験：ゴムリングによる家兔上顎切歯の萌出抑制実験
 - A. 資 料
 - B. 実験方法
 - 1. 装 置
 - 2. 術 式
 - C. 実験結果
 - 1. 萌出を抑制された切歯の動き
 - 2. 作用力の大きさの変化
- V. 考 察
 - A. 実験方法に対する検討
 - B. 萌出力の性格およびその大きさ
 - C. 萌出力の大きさに関する病理組織学的考察
- VI. 総 括
- VII. 結 論
- VIII. 文 献

歯の萌出機序については、咬合系の成立の1つの因子として、また咀嚼機能の1部を構成するものとして、解剖学的立場から、あるいは生理学的立場から種々検討されてきている。歯科臨床分野においても、歯科矯正学、あるいは小児歯科学においては、その基礎的な裏付けとして、また臨床との直接の結びつきの上からも多くの研究がなされている。

この問題に関する Massler & Schour(1941)¹⁾の綜説的な報告によれば、歯の萌出理論の多くは次のいずれかに属するものであるという。すなわち、歯の萌出を生ずるものは、i) 歯根の長径の増大、ii) 象牙質形成による歯髓の圧縮、iii) 歯根膜線維の牽引、iv) 歯槽骨形成による押し出し、v) 頬部や舌の筋活動による歯槽突起の圧迫、vi) 歯槽突起の尖端の吸収、vii) 細胞増殖および血管壁での滲透による組織圧の高まりのいずれかであるという。彼等はこれらの理論のうち、血圧による組織圧の上昇のみが、反論、反証が無く、また彼等の

実験結果とも合致するものとして支持している。この問題に関して Ness(1964)²⁾ も多くの研究をとり上げ Massler らの論拠を認めているが、必ずしも他の理論の可能性を否定してはいない。

歯の萌出機序に関して、長い研究の歴史がありながら、このように依然多くの理論が共存していることは、この研究の困難性を物語るものと思われる。と同時に、その原因の1つとして従来の研究の多くが萌出に関連する因子の追求を主とした定性的なものであつて因子の列挙にとどまり、定量的な追求を行つたものが少いためと思われる。

そこで著者は歯の萌出をこれらの因子による反応の総和としてとらえることにより、これを定量的に把握しようと試み、萌出に際して生ずるであろう力を研究の対象とした。つまり、歯の萌出を生体内での物体の移動として見た場合、この移動には歯およびその周囲での何らかの生物学的現象によつて生ずる物理的な力、あるいは圧力が存在しなければならない。Massler & Schour(1941)¹⁾、Sicher(1942)³⁾、Medak et al(1952)⁴⁾らはこれを萌出力、force of eruption と呼んでいるが、必ずしもその定義や由来について明確にしてはいない。

本研究は、このように考えた場合の萌出力の大きさを把握することを目的として行われた。

II. 研究方法

萌出力の大きさを把握するために、萌出中の歯に萌出方向と反対方向の種々の大きさの力を加え、それによる歯の動きの変化の様相を知ることとした。このため、萌出速度の大きい家兎上顎切歯を選び、これにゴムリングの張力を用いて力を作用させるという計画を立て、本研究を次のように組立てた。

予備実験：種々なる大きさの力を得るために、まず実験用ゴムリングの力学的性状を正確に把握する。

本実験：予備実験によつて保証されたゴムリングを用いて、種々の大きさの力で家兎上顎切歯の萌出を抑制する。

III. 予備実験：実験用ゴムリングの力学的性状に関する実験

ゴムリングは、家兎の口腔内に使用されるため、その牽引時における最大長さが約 12 mm 前後でなければならない。また、rat 下顎切歯の萌出が 5 g の力で停止する⁵⁾こと、矯正力の大きさに関する一般的概念^{6) 7) 8)}などから考えると、ゴムリングは 200 g 程度までの張力を持てば十分であると思われる。そこでこれらのことを考慮に入れ、市販のものおよび自作のもの各 4 種を選んだ。市販のものは Unitek 社製の矯正用 latex band, Heavy $1/4$, $1/8$ および Light $1/4$, $3/16$ で、自作のものは Light $1/4$ および $3/16$ をそれぞれ半裁したものと、太陽ゴム株式会社製歯科用防湿ラバーダムシートより山浦製作所製のラバーダムパンチの 5 と 3, 5 と 4 の穴を用いて穿孔した外径 3.15 mm, 内径 1.25 mm, および外径 3.15 mm, 内径 1.90 mm のものである(表 1, 図 1)。

これらについて荷重の大きさおよび長時間荷重によるゴムリングの長さの変化を求めた。前者は本実験でのゴムリングの長さ与作用力の大きさとの換算用グラフを得るためであり、後者は実験中のゴムリングの疲労の程度を知るためである。

1. 荷重の大きさによるゴムリングの長さの変化

資料：上記 8 種類のゴムリング各 5 本を用いた。

表 1 実験用ゴムリング

記号	摘 要	
H $1/4$	Unitek 社製矯正用ゴムリング	Catalog No. UT-303
H $1/8$	"	" UT-304
L $1/4$	"	" UT-251
L $3/16$	"	" UT-250
LL $1/4$	上記 L $1/4$ ゴムリングを縦に半裁したもの	
LL $3/16$	" L $3/16$ ゴムリングを "	
R 35	防湿用ラバーダムを山浦製ラバーダムパンチの 3, 5 の穴を用いて打ち抜いたもの	
R 45	同じく 4, 5 の穴を用いて打ち抜いたもの

図 1 実験用ゴムリング

上列左より, $H \frac{1}{4}$, $H \frac{1}{8}$, $L \frac{1}{4}$, $L \frac{3}{16}$
 下列左より, $LL \frac{1}{4}$, $LL \frac{3}{16}$, R 35, R 45

図 2 ゴムリングの長さを測定するための実験装置

a: 固定装置 b: 分銅皿 c: 読取顕微鏡
 下端は拡大図

装置：実験装置（図 2）はゴムリングの固定装置 (a), ゴムリングに荷重をかけるための分銅皿 (b), およびゴムリングの長さを測定するための読取顕微鏡 (c) から成っている。固定装置は約 10 kg の鉄塊上に 歯科技工用ピンバイス を保持し、さらにその先端に直径 0.5 mm の矯正用サンプラチナ線のフックを取り付けたものである。読取顕微鏡は精度 $1/100$ mm のもの (I.T.P. 製作所製) である。

計測方法：上記装置を用いて、まず、懸垂したゴムリング内径の上端の高さを測定する。次で、静かに荷重をかけて下端の高さを測定し、先の測定値との差、すなわちゴムリングの内径を求めて

荷重に対するゴムリングの長さの値とした。測定後、順次荷重を追加し、より大きな荷重に対する長さの測定を行った。

実験結果：各種 5 本ずつのゴムリングにつき各荷重に対する長さの平均値、標準偏差および偏異係数を表 2 に示す。この値を用いて各ゴムリングの荷重-長さ曲線（図 3）を作製し、本実験の換算用グラフとした。

2. 長時間荷重によるゴムリングの長さの変化
 資料、装置、実験方法：資料、装置は先の実験と同一である。1. の実験において得られたゴムリングの荷重-長さ曲線（図 3）から、用いる力の大きさとゴムリングの種類との組合せを表 3 のように決定した。この表にしたがつて、各ゴムリングにつきそれぞれの荷重を適用し、12 時間、24 時間の連続荷重による長さを測定した。

実験結果：連続荷重によるゴムリングの長さとその変化（伸び）、および変化率（伸び率）を表 4 に示す。

3. 実験用ゴムリングの力学的性状に関する考察

ゴムリングの荷重-長さ曲線（図 3）から知られるように、R 35, R 45 以外の 6 種類のゴムリングでは、上端および下端を除きほぼ直線と見なし得る。R 35, R 45 の 2 種類も下端を除いてはほぼ直線と見なし得る。すなわち、これらのゴムリングの荷重と長さの関係はほぼ比例関係にあるといえよう。また、同一種類のゴムリングにおける測定値の分散程度は、表 2 で知られるように、R 35, R 45, $H \frac{1}{8}$ がやや大きな値を示すほかはみな 3.8 % 以内である。従つて、図 3 に示す荷重-長さ曲線を換算用グラフとして用いる場合、その誤差はやはり 3.8 % 程度におさえられるものと考えられる。一方、24 時間荷重によるゴムリングの長さの変化を見ると、表 3 に示す範囲内の荷重ではその変化は R 35, R 45 ではやや大きな値が見られるがそれ以外のものでは 7 % 以下である。

以上のことから、これらのゴムリングは表 3 の力の範囲内で用いる場合には、同一種類内での分散の程度および疲労の限界から見て本研究には十

表2 実験用ゴムリングの各荷重に対する長さの平均値, 標準偏差, および偏異係数

H $\frac{1}{4}$	Gram	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
	Mean	8.06	9.15	9.77	10.29	10.67	11.12	11.54	12.03	12.53	13.12	13.73	
	S.D.	0.19	0.05	0.11	0.04	0.07	0.08	0.08	0.11	0.11	0.15	0.18	
	C.V.	0.024	0.005	0.011	0.004	0.007	0.007	0.007	0.009	0.009	0.011	0.013	
H $\frac{1}{8}$	Gram	1	2	5	10	15	30	45	60	75	90	105	
	Mean	3.37	3.59	3.89	4.43	4.77	5.59	6.45	7.50	8.79	10.32	12.09	
	S.D.	0.13	0.14	0.22	0.29	0.27	0.29	0.32	0.35	0.43	0.41	0.51	
	C.V.	0.039	0.039	0.057	0.066	0.058	0.052	0.049	0.047	0.047	0.040	0.042	
L $\frac{1}{4}$	Gram	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
	Mean	8.88	9.08	9.38	9.67	9.88	10.10	10.31	10.77	10.81	11.10	11.34	11.67
	S.D.	0.06	0.08	0.05	0.09	0.07	0.11	0.31	0.41	0.15	0.18	0.18	0.29
	C.V.	0.007	0.009	0.005	0.009	0.007	0.011	0.029	0.038	0.014	0.016	0.016	0.025
L $\frac{3}{16}$	Gram	1	3	5	7	9	11	13	15				
	Mean	6.02	6.66	6.95	7.18	7.39	7.57	7.79	7.95				
	S.D.	0.07	0.03	0.05	0.03	0.02	0.04	0.09	0.06				
	C.V.	0.011	0.005	0.007	0.007	0.003	0.005	0.012	0.008				
LL $\frac{1}{4}$	Grrm	4	6	8	10	12	14						
	Mean	9.73	10.13	10.59	11.13	11.66	12.35						
	S.D.	0.07	0.11	0.16	0.23	0.20	0.27						
	C.V.	0.007	0.011	0.015	0.021	0.017	0.022						
LL $\frac{3}{16}$	Gram	4	6	8	10	12	14						
	Mean	7.40	7.79	8.15	8.62	9.02	9.53						
	S.D.	0.07	0.05	0.09	0.11	0.17	0.16						
	C.V.	0.009	0.006	0.011	0.013	0.019	0.017						
R 35	Gram	2	5	10	15	20	25	30					
	Mean	2.81	3.30	4.18	5.32	7.10	10.00	12.59					
	S.D.	0.07	0.12	0.14	0.25	0.42	0.89	0.62					
	C.V.	0.025	0.036	0.033	0.047	0.059	0.089	0.050					
R 45	Gram	2	4	6	8	10	12	14					
	Mean	3.57	4.22	5.13	6.35	8.18	9.82	12.08					
	S.D.	0.09	0.10	0.24	0.29	0.46	0.54	0.65					
	C.V.	0.025	0.024	0.047	0.046	0.065	0.055	0.056					

分に利用可能のものと考えられる。

IV. 本実験：ゴムリングによる家兎上 顎切歯の萌出抑制実験

先に述べたように、萌出抑制に用いる力の大きさを、rat の下顎切歯の萌出が5g の力で停止することや矯正力に関する一般的概念から200g 以下であると推定し、家兎切歯に2g, 5g, 7g, 10g,

20g, 50g, 100g, 200g の8段階の力を作用させることにした。

A. 資料

体重2.5~3.5kg の雄成熟家兎14例を用い、これらを切歯に作用させる力の大きさによりそれぞれ2g, 5g, 7g, 10g, 20g, 50g, 100g, 200g の各実験群, 計8群に分けた。各群に用いた家兎の数, 動物番号, 使用したゴムリングの種類を表

5 に示す。

実験期間は冬期（2月）から初夏（5月）におよび、室温を20℃に保持した飼育室で、オリエ

図 3 実験用ゴムリングの荷重—長さ曲線
横棒は標準偏差の大きさを示す

表 3 実験で使用する力の大きさと
ゴムリングの種類との組合せ。

10 g	前後までの力	L ³ / ₁₆ , LL ¹ / ₄ , LL ³ / ₁₆ , R 45
20 g	前後までの力	L ¹ / ₄ , R 35
50 g	前後までの力	H ¹ / ₄
100 g	前後までの力	H ¹ / ₈
200 g	前後までの力	H ¹ / ₈ × 2

表 5 本実験に用いた家兎の動物番号および
使用したゴムリングの種類

実験群	動物番号	使用したゴムリング
2 g	M 30	L ¹ / ₄
	31	L ³ / ₁₆
5	33	L ³ / ₁₆
	32	LL ¹ / ₄
	17	LL ¹ / ₄
	35	H ¹ / ₄
7	16	LL ³ / ₁₆
	34	R 45
10	26	LL ¹ / ₄
	29	L ¹ / ₄
20	25	H ¹ / ₄
	37	R 35 × 2
50	24	H ¹ / ₈
	28	H ¹ / ₈ × 2

表 4 12 時間、24 時間連続荷重による実験用ゴムリングの伸びと伸び率

ゴムリングの種類	荷 重	荷重30秒後のゴムリングの長さ	12時間荷重によるゴムリングの伸びと伸び率		24時間荷重によるゴムリングの伸びと伸び率	
H ¹ / ₄	25g	10.72mm	0.24mm	0.02	0.56mm	0.05
	50	13.62	0.20	0.01	0.25	0.02
H ¹ / ₈	50	6.72	0.22	0.03	0.47	0.07
	100	11.43	0.68	0.06	0.75	0.07
L ¹ / ₄	10	9.54	0.06	0.01	0.24	0.03
	20	10.73	0.45	0.04	0.56	0.05
L ³ / ₁₆	10	7.20	0.08	0.01	0.28	0.04
	20	8.05	0.30	0.04	0.45	0.06
R 45	5	4.50	0.39	0.09	0.87	0.19
	10	6.77	1.58	0.24	2.43	0.36
R 35	5	8.10	0.15	0.02	0.44	0.05
	10	3.99	0.78	0.20	0.81	0.20
LL ¹ / ₁₆	5	7.51	0.14	0.02	0.31	0.04
	10	8.50	0.26	0.03	0.35	0.04
LL ¹ / ₄	5	9.52	0.25	0.03	0.41	0.04
	10	10.78	0.35	0.03	0.42	0.04

ンタル酵母工業株式会社製の混合飼料 (RC 5) と水とで飼育した。

B. 実験方法

家兔切歯に 萌出方向と反対方向の力を確実に加えるため、特殊な装置を考案し口腔内へ装着した。

1. 装置 (図 4) : 装置はゴムリングの保持装置 (a), 上顎切歯唇面のフック (b) とゴムリングの 3 部よりなる。

a. 保持装置 (図 4, a)。直径 0.9 mm の矯正用サンプラチナ線を約 2 mm の間隔で U 字型に屈曲し、その両脚を約 2 cm と 4 cm の長さに切断し、尖端をとがらせる。この U 字型の彎曲部に直径 0.9 mm, 長さ約 1 cm の矯正用サンプラチナ線を両脚のなす平面に直角に鑑着し、その両端で両側の切歯長軸の延長線上に位置するところに直径 0.5 mm 線で作製したフックを電気熔接する。

図 4 実験装置

a: 保持装置 b: 切歯唇面フック

b. 切歯唇面フック (図 4, b)。直径 0.5 mm, 長さ約 2.0 mm の矯正用サンプラチナ線を、1 端より 0.5 mm のところで直角に屈曲し上顎両側切歯唇面に植立する。

c. ゴムリング。上顎骨に打込んだ保持装置上のフック (保持装置フック) と上顎切歯唇面に植立したフック (切歯唇面フック) との間に、予備実験で保証されたゴムリングを懸ける。

2. 術式: 実験は次の術式で行った。

a. 装置装着

i. 麻酔。ペントバルビタールナトリウム (商品名 Nembutal) 0.5 W/V 溶液を 0.7~0.9 ml/kg の

割合で耳静脈内に注射し、麻酔第 3 期程度の条件下で装置装着を行った。

ii. 保持装置の装着。正中線上で上顎切歯歯肉と口唇内側粘膜との移行部から、歯科用裂溝状バー (#700) を用いて口蓋面に向け矢状方向に 2 個の穴を上下に約 2 mm の間隔でそれぞれ平行に穿孔した。これに前記保持装置を、短脚を下、長脚を上にして打ち込み装着した (図 5)。保持装置の短脚は口蓋の硬い組織に、長脚は鼻腔底付近に打込まれるため、装置は動揺することなく強固に固定された。

図 5 家兔口腔内に実験装置を装着したところ

iii. 上顎切歯唇面へのフックの植立。上顎切歯唇面中央部の裂溝中で保持装置フックから降ろした直線が上顎切歯唇面に接する部位に歯科用球形バーを用いて小孔を設け、前記フックを切歯唇面より約 1.5 mm の高さになるように差込み、歯科用燐酸セメントで合着した。これにより、ゴムリングの力の方向は切歯の萌出方向と反対方向でしかも唇側の曲面に接線方向となる。

iv. 抗感染薬投与。保持装置装着にともなう感染を予防するため、術後 3~5 日間サイアジン 1.0 cc を筋注投与した。

v. X線写真撮影。保持装置の装着状態を確認するため、上顎前歯部の X線写真を上方および側方の 2 方向から撮影した (図 6)。撮影は実験終了時にも行った。

b. 下顎切歯歯冠切除。上顎切歯に加わる咬合

図 6 保持装置の装着状態を調べるための家兎上顎前歯部のX線写真

a: 横方向 b: 縦方向

力を排除するため、実験中は2～3日毎に下顎両側切歯歯冠を歯頸部で切除した。

c. 計測。両側の切歯すなわち実験歯および対照歯の両者について、萌出方向の動きを知るため

に、精度1/20 mm のキャリパスを用い、装置装着より実験歯にゴムリングを装着するまでは24時間毎に、またゴムリングを装着した後は12時間毎に、保持装置フックと切歯唇面フックとの距離を計測した。この計測値から換算用グラフ(図3)を用いて実際に歯に作用した力の大きさを求めた。さらに参考として歯の動きにともなう歯肉縁の動きを知るために保持装置横棒上縁と上顎切歯歯肉縁との距離を測定した。

d. ゴムリング装着。保持装置装着数日後に局所の急性炎症症状の軽快を待つて、1側の切歯を実験歯とし、保持装置フックと切歯唇面フックとの間にゴムリングを装着した。ゴムリングは保持装置フックと切歯唇面フックとの距離および歯に作用させる力の大きさを考慮し、図3の換算用グ

図 7 A 実験中の上顎切歯の萌出量

ゴムリング装着時の保持装置フックと切歯唇面フックとの距離を規準とする。

縦軸：萌出量、横軸：日数、太線：実験歯、細線：対照歯

7g 実験群 (M 35 : 実線, M 16 : 点線)

5g " (M 17 : 実線, M 32 : 点線, M 33 : 鎖線)

2g " (M 30 : 実線, M 31 : 点線)

図 7 B 実験中の上顎切歯の萌出量

200 g 実験群 (M 28)
 100 g " (M 24)
 50 g " (M 27 : 実線, M 25 : 点線)
 20 g " (M 29)
 10 g " (M 34 : 実線, M 26 : 点線)

ラフを用いて8種類のゴムリングより選択し、また口腔内連続装着による疲労を考慮し24時間毎に同一種類の新しいものと交換した。

e. 屠殺。実験歯の計測値に変動が見られなくなつた後も約1週間実験を続け、歯の動きが停止したことを確認した上で家兎を屠殺した。

C. 実験結果

各実験家兎の保持装置フックと切歯唇面フックとの距離の変化、固定装置横棒と歯肉縁との距離の変化、および前者より換算用グラフを用いて求めた作用力の変化を表6に示す。また、実験中の切歯の動き、および作用力の減衰の様相を図7および図8に示す。

1. 萌出を抑制された切歯の動き

a. 2 g, 5 g の実験群。保持装置装着よりゴムリング装着までの切歯の萌出方向の動きを見る

と、動物番号 M 31 の家兎では片側の切歯は殆んど動きを示さず、また M 33 の片側の切歯および

図 8 作用力の大きさの変化

M17の両側の切歯では他の切歯と比べ萌出速度がやや異っている。これは装置装着と関連があるかもしれないがそれ以前の萌出様相が不明のため原因を決めることができない。ゴムリングの装置により2g、5g前後の萌出抑制力が加えられると、実験歯の萌出は継続するが、時間の経過と共にその速度は次第に減少し、ついには萌出が殆んど停止するに至った。例えばM31の家兎では8日頃より、M32の家兎では14日頃より、実験歯の萌出は殆んど見られなくなった。

b. 7gの実験群。ゴムリング装着前には、動物番号M16の家兎の片側の切歯が殆んど萌出を示さなかったが他側の切歯およびM35の切歯はほぼ等しい速度で萌出していた。これらの切歯に7g前後の萌出抑制力が加わると、M35の実験歯は僅かに力の作用方向に圧下されだしたが、12時間後にはその動きもほぼ停止した。

M16の実験歯は、ゴムリングの装着により萌出を殆んど停止し、4日目頃に僅かに萌出が見られるが、6日目には全く停止した。

表6 ゴムリング装着後の保持装置フックと切歯唇面フックとの距離の変化、保持装置横棒と歯肉縁との距離の変化、および作用力の大きさの変化
同一動物の上列は実験側、下列は対照側の数値を示す

実験群 (g)	動物番号	固定装置フックと切歯 唇面フックとの距離			固定装置と歯肉縁との距離			実際に作用し た力の大きさ	
		荷重開始時 (mm)	屠殺時 (mm)	差 (mm)	荷重開始時 (mm)	屠殺時 (mm)	差 (mm)	荷重開始時 (g)	屠殺時 (g)
2	M30	8.60	9.80	1.20	5.30	4.45	-0.75	1.0	9.5
		7.90	12.35	4.45	4.45	4.05	-0.50		
5	31	7.15	7.40	0.25	5.60	5.50	-0.10	2.0	13.8
		6.35	7.85	1.50	3.45	2.75	-0.70		
	33	6.90	7.45	0.55	4.50	3.80	-0.70	4.8	9.8
		4.55	7.80	3.25	3.50	2.60	-0.90		
	32	9.85	11.70	1.85	6.00	4.70	-1.30	4.8	12.8
		7.80	13.65	5.85	4.85	3.75	-1.10		
7	17	10.00	11.45	1.45	3.40	3.40	0.00	5.0	11.5
		9.40	13.00	3.60	3.35	3.25	-0.10		
	35	9.30	9.05	-0.25	4.50	3.90	-0.60	6.5	4.5
		9.40	12.65	3.25	4.75	4.45	-0.30		
10	16	8.30	8.65	0.35	2.15	1.00	1.15	8.5	10.0
		7.30	7.95	0.45	1.35	1.00	0.35		
	34	8.10	6.40	-1.70	3.65	2.90	-0.75	9.6	8.1
6.35		10.65	4.30	3.50	3.00	-0.50			
20	26	11.75	11.25	-0.25	4.70	3.25	-1.45	12.5	10.5
		12.20	14.30	2.10	5.30	4.80	-0.50		
	29	11.85	9.95	-1.90	5.55	5.35	-0.20	25.5	10.5
8.85		11.70	2.85	3.60	4.10	0.50			
50	25	13.10	9.00	-4.10	4.50	2.80	-1.70	44.8	4.2
		9.70	13.90	4.20	3.20	3.35	0.15		
	27	12.25	3.05	-9.20	4.35	1.20	-3.15	58.5	7.5
11.70		15.20	3.50	4.65	4.25	-0.40			
100	24	11.20	4.15	-7.05	4.70	0.30	-4.40	96.7	7.5
		10.95	13.10	2.15	4.30	3.60	-0.70		
200	28	11.30	3.60	-7.70	4.30	2.80	-1.50	194.2	6.7
		11.65	17.35	6.70	4.55	4.00	-0.55		

c. 10 g の実験群。ゴムリング装着前では M 34 の片側の切歯の萌出速度はやや小さいが、他は殆んど同じ速度で萌出していた。

ゴムリングの装着により、10 g 前後の萌出抑制力が作用すると歯は力の作用方向にゆつくりと圧下されはじめたが、M 26 では2日目頃には動きが停止した。しかし M 34 ではゴムリング装着後歯は僅かづつ圧下され続け20日前後になつて動きが停止した。

d. 20 g, 50 g, 100 g, 200 g の実験群。100 g の実験群の M 24 の家兎では、ゴムリング装着前の萌出速度が他の家兎に較べてやや緩慢であつた。ゴムリングの装着により切歯は直ちに圧下されはじめた。圧下速度はどの例においても初めの12時間が最大であつたが、時間の経過と共に次第にその速度を減じ、ついに停止した。20 g の実験群のものでは14日目に、100 g の実験群のものでは34日目に停止した。

2. 作用力の大きさの変化

すでに述べたように、ゴムリング装着後保持装置フックと切歯唇面フックとの距離が変化し、これにともなつてゴムリングによる作用力の大きさも変化する。そこで、予備実験で作製した換算用グラフを用いてフック間距離の変化を作用力の大きさの変化に置換し観察した。

a. 2 g, 5 g の実験群。表6で示す通り、これらの実験群では歯に実際に加えられた力の大きさは、最初1.0 g から5.0 g の範囲であつたが、フック間の距離が増大したためゴムリングの張力は9.5 g から13.8 g の範囲に達した。

b. 7 g の実験群。この実験群の2例では、歯に加えられた力の大きさは、最初6.5 g と8.5 g であつた。前者ではこのため切歯が圧下されゴムリングの張力は4.5 g に減じ、後者では切歯は僅かに萌出を続け、フック間距離の増大にともなつてその力は10.0 g に達した。

c. 10 g の実験群。この実験群ではゴムリング装着開始時の力の大きさは9.6 g, 12.5 g であつたが、装着とともに切歯は圧下され、フック間距離が減少し作用力はそれぞれ8.1 g, 10.5 g に減

少した。

d. 20 g, 50 g, 100 g, 200 g の実験群。これらの実験群では、最初の力の大きさは25.5 g から194.2 g の範囲であつたが、どの例においてもゴムリング装着後の切歯の圧下によりゴムリングの作用力は4.2 g から10.5 g までの範囲に減少した。

V. 考 察

A. 実験方法に対する検討

1. 保持装置の不動性と萌出力の大きさにおよぼす影響

ゴムリングの固定源として用いた保持装置の不動性について、先ず検討を加えてみよう。保持装置は上顎骨に前方より打込まれ、その脚部は鼻腔前下部を通り、硬口蓋に達している。実験には保持装置が強固に固定された家兎のみを用いたので実験初期には全く不動性のものであつたと言ひ得る。しかし、実験中の保持装置には常に一定方向の力が作用しているから、その脚部周囲組織になんらかの変化が生じ、そのため装置の移動することが考えられる。この動きの有無を保持装置横棒と歯肉縁との距離の変化(表6)から見ると、実験前に比し実験後では実験側、対照側ともに距離が減少し保持装置の下方移動の可能性がうかがえるが、これは歯肉が装置の影響によりあるいは他の生理的、病理的理由により上方移動しても生ずることであり、保持装置の移動を示す決め手とはならない。保持装置装着時および実験終了時に撮影したX線写真上でも保持装置の移動は確かめられない(図9)。

従つて、もし実験中に装置が下方へ移動したとしても、その量は僅かであろうと思われる。ただ、保持装置の下方移動があれば切歯は見かけ上圧下され、萌出力はその分だけ大きな値となる。

保持装置は上顎切歯歯根の近くに打込まれるので、それにより切歯の萌出がなんらかの障害をこうむる事が考えられる。確かに M 31, M 16 の家兎ではそれぞれ片側の切歯が殆んど萌出しておらず、なんらかの為害作用を受けている可能性が考えられる。このような為害作用が実験結果に影響をおよぼす危険を失くするために、本実験では装

図 9 保持装置の不動性を示すX線写真

動物番号 M33 (5g の実験群) の保持装置装着時 (a) と屠殺時 (b), および
動物番号 M28 (200g の実験群) の保持装置装着時 (c) と屠殺時 (d)

置装着後数日間切歯の萌出状態を検し、明確な萌出を示すものを選び実験歯とした。従つてゴムリング装着後の萌出の停止、もしくは圧下を考える際に、これらの影響を無視することができよう。

2. 下顎切歯歯冠切除の意義

本研究では、下顎切歯歯冠を歯頸部で切除しこれに加わる咬合力を排除した。このような状態 (unimpeded な状態, Bryer, 1957⁹⁾) で実験を行ったのは、萌出におよぼす影響を調べる際に、実験中に生ずる咬合状態の変化が実験結果に影響をおよぼす事を避けるためである。ある因子の萌出に与える効果は、対合歯と咬合している場合でも、していない場合でも、その方向は同じ (Ness, 1964²⁾) で、ただ効果の大きさが異なつて現われるに過ぎない。従つて、実験操作の効果をそれだけ確実に把握する事ができると思われる。

3. ゴムリングの交換と作用力の減衰

ゴムリングは装着後フック間距離の変化にかかわりなく、疲労現象により張力が減少すると思わ

れる。この減少の程度はゴムリングの引き伸ばされる量が多い程大きいだろう。50g, 100g, 200g の実験群では実験初期にゴムリングは大きく引き伸ばされているが、歯の圧下速度が大きく、そのためゴムリングの疲労による力の減衰よりもフック間距離の減少にともなう張力の減少の方が大きいと思われる。2g, 5g の実験群では、実験初期のゴムリングの引き伸ばされる量は少く、その上、歯が萌出しているのでゴムリングの疲労による張力の減少よりもフック間距離の増大による力の増加の方が大きい。実験の進行にともない歯の動きが停止した時にはフック間距離の変化は少く、これに作用している力がこの距離を変化させる程著明に増減していない証拠である。予備実験 (表4) によれば、5~10g の荷重を24時間連続作用させた場合のゴムリングの伸び率は、R35, R45の2種類を除き、7%を超えるものがない。以上のことから、本研究においては24時間間隔でゴムリングを交換する限りでは、ゴムリングの疲労によ

る力の減衰は考慮しなくてもよいと思われる。

以上の実験方法に関する検討から、本研究で行った実験方法は十分な妥当性を有するものと思われる。

B. 萌出力の性格およびその大きさ

1. 萌出力の性格

萌出力 force of eruption という言葉は、さきに述べたように、多くの文献で用いられているが、その意味するところはさまざまであり、明確な定義はなされていない。そこで、まず萌出力の性格を定義してみよう。

歯には歯冠および歯根のそれぞれに、周囲の種々な生物現象によつて生ずる種々な方向、および大きさの力が作用していると考えられる。これらの力のうち、歯の萌出を促進、あるいは抑制する力、すなわち歯の萌出方向で正および負の方向の力について、便宜上、歯冠部と歯根部とに分けて考えてみよう（図10）。

図10 萌出中の歯に作用する力の種類を示す模式図

- A : 歯冠に作用する正の萌出方向の力
 A' : " 負の萌出方向の力
 B : 歯根に作用する正の萌出方向の力
 B' : " 負の萌出方向の力

歯冠に作用する正の萌出方向の力	A
" 負の萌出方向の力	A'
歯根に作用する正の萌出方向の力	B
" 負の萌出方向の力	B'

とした場合、Aは生理的なものとしては存在せず、矯正治療により積極的に歯の延長挺出を計る場合など、特殊な場合にのみ考えられるものである。A'には対合歯による咬合力、咀嚼力などが属する。またBには、従来歯の萌出に関与していると考えられて来た多くの力、すなわち根尖周囲組織の細胞分裂やその他の現象による組織圧の高

まり、歯根膜線維の牽引力などがこれに対応する。B'としては粘弾性体としての歯根膜組織の抵抗（倉島，1963¹⁰⁾）を考えることができよう。

萌出中の歯に作用している力はこの4種類の力に含まれているはずであり、従つて萌出力はこれらの力の組合せによると考えられる。まず歯に全く力の作用していない状態を考えると、萌出という現象は起らず、歯は静止状態に止つていよう。この状態での均衡がなんらかの形のBに属する力によつて破られたとすると、歯は萌出方向に動き出し、同時に運動にともなう抵抗すなわちB'の力も作用し始める。この動きは歯の萌出に外ならない。そこでいわゆる萌出力は歯根およびその周囲の萌出を起す力Bからその抵抗となる力B'を差引いた代数和、すなわち $B+B'$ として定義することができよう。ここでB'は負の符号を持つ値である。

本実験においては、下顎切歯歯冠を歯頸部で切除し、上顎切歯歯冠に加わる咬合力を排除した。従つて、実験歯に作用する主な力は、実験歯の生理的な萌出の原動力B、同じく生理的な抵抗力B'、およびゴムリングによる機械的な力A'の3種と考えることができ、 $\sum f = B+B'+A'$ となる。本実験で歯の萌出が停止した時歯に加わる力の平衡が成立したとすれば、 $\sum f = 0$ 、 $-A' = B+B'$ となる。つまり、歯の動きが停止した時のゴムリングの張力はこの時点における実効的な萌出力と考えることができる。

2. 家兎上顎切歯の萌出力の大きさ

最初に1.0g~5.0gの力をかけた2g、5gの実験群では歯の萌出は継続し、9.6~194.2gの力をかけた10g以上の実験群では逆に圧下された。この事実から考えると、歯の萌出を止め得る力の大きさは5.0gより大きく9.6gより小さいことになる。これらの実験群の間にある7gの実験群では、6.5gの力を加えられた切歯は圧下され、8.5gの力を加えられた切歯は萌出した。つまり、ある切歯では6.5gの力が歯の萌出を停止させる大きさを超え、他の切歯では8.5gの力が歯の萌出を停止させるに不十分であつた。これらの実験

結果を総括すると、家兎上顎切歯の萌出を停止させる力、つまり萌出力の大きさは7g 前後にあり、しかもある程度の個体差があるものと思われる。

実験の経過にともなう作用力の大きさの変化をグラフに画いてみると(図8)、荷重開始時には力の大きさは1.0g から194.2g の範囲に分散しているが、次第に分散の幅は狭くなり、やがて歯の動きが停止した時には、4.2g から13.8g の範囲に集中している。このことから、歯の萌出力が少くともこの範囲に存在することがうかがえる。

歯の萌出力の大きさを実験的に測定した研究としては rat の下顎切歯についての Taylor & Butcher(1951)⁵⁾ の報告がある。彼等はゴザリングやコイルスプリングを用いて下顎切歯に萌出抑制力を加え、2g の力では萌出速度が減少し、5g では萌出が停止し、それ以上の力では切歯は歯槽内へ圧入されることを認めた。本実験において求められた家兎上顎切歯の萌出力7g と、rat 下顎切歯の5g の値とをそのまま比較することは無意味で、動物の大きさ、歯の大きさ、歯根表面積の大きさ、あるいは食生活上の特性など多くの因子を考慮して比較すべきものであろう。しかし、今、体重3.0kg 前後の家兎の乾燥上顎切歯の断面積を求めると平均6.1mm² の値が得られた。したがって、萌出中の歯の横断面の受ける圧力は7/6.1=1.15g/mm² となる。Ness(1964)²⁾ によれば rat 下顎切歯の断面積は1.68mm² であるから、Taylor & Butcher(1951)⁵⁾ の rat では5/1.68=2.98g/mm² となり、本研究の家兎の2.6倍の値を示している。この値は、とりもなおさず、この間になお多くの因子が介在していることを物語っている。

歯の萌出機序を解明するためには、考えられ得る多くの因子を定性的に把握するばかりでなく、定量的にも解析する必要があると思われる。このような意味から、それぞれの因子の歯の萌出に関与し得る割合を力の大きさに置きかえて検討することは極めて有意義なものと思われる。その手はじめとして本研究では歯の萌出という現象を生体内での物体の移動と見なすことにより、これに作

用する力の大きさを求めた。しかしこの現象が生体の成長発育現象の一部である以上、萌出力の出現は多くの生体反応の複雑な連繋の上に成立っているはずであり、その反応の全てがこの方法で把握できるものではなからう。

C. 萌出力の大きさに関する病理組織学的考察

歯の萌出を抑制する力が、歯根および歯周組織にどのような影響を与えていたかを知り、さらに萌出力の大きさを病理組織学的に考察する目的で、本実験に用いた家兎切歯を屠殺後組織標本とし、検鏡した。対照として、対合歯と正常に咬合している上顎切歯、および下顎切歯歯冠切除後1日目の上顎切歯の組織像を追加した。資料は通法により固定(10%ホルマリン溶液)、脱灰(5%トリクロル酢酸溶液)、包埋(ツェロイジン・パラフィン2重包埋法)し、厚さ8μの矢状断切片とし、ヘマトキシリン・エオジン重染色を施した。

1. 組織所見

組織像の観察は、Massler & Schour(1941)¹⁾、Ness(1964)²⁾ らに基づき、根尖硬組織および基底部歯胚組織の形態、根尖部歯槽骨および歯根膜、歯髓結合組織の性状および象牙前質の形成の諸点に重点を置いた。

a. 対合歯歯冠切除により咬合を営まない状態にある上顎切歯(図11, a)。本実験で用いた実験歯の組織変化を調べる参考として、まず対合歯歯冠切除により咬合を営まない状態におかれて1日目の上顎切歯の組織変化を調べた。正常に咬合しているもの(図11, b)に較べ基底部の歯胚組織はゆるやかに屈曲し、特に唇側では歯根の延長上に真直に伸びその尖端だけが僅かに内方へ彎曲している。唇側にあるエナメル髓はやや疎になっている。根尖周囲の歯根膜腔は唇側ではかなり拡大しているが、舌側では著明ではない。歯根内面には唇舌両側共象牙前質の形成が認められ、歯髓、歯根膜、歯槽骨骨髓には著明な変化は見られない。

b. 2g, 5g, 7g の実験群(図12, a, b)。7g 以下の実験群では基底部歯胚組織は内方へ急角度で折れ込み、歯根膜が著しく圧縮され、歯髓および歯根膜の血管成分も減少しているが、歯根内面

図 11 家兎上顎切歯根尖部の組織像

- a: 対合歯歯冠切除して1日目の上顎切歯
b: 正常に咬合している上顎切歯

では象牙前質が形成され、歯髄基底部の細胞稠密帯ではやはり歯髄の他の部位に比べ細胞が密集している。根尖部歯根膜組織は圧縮されているが圧迫壊死の像は認められず、血管も圧縮されているが中に血球を認めることができる。歯根には吸収像がなく、根尖部歯槽骨表面にも著明な吸収亢進像は認められない。根尖部歯根表面にはゆるやかな凹凸が見られるが、これは対合歯と正常に咬合している切歯に見られるものよりやや著明な程度である。

c. 10 g, 20 g の実験群(図 12, c)。歯根尖の硬組織が著しく折れ重なり、Neess(1956)¹¹⁾の言う根尖の folding が認められ、基底部歯胚組織は急角度で内方へ折れ込み、唇側歯根表面にはこれに接して骨様硬組織の異常形成が認められる。根尖周囲の歯根膜は圧迫され、細胞、血管は少く、線維の走向のみが著明である。歯髄、歯根膜の血管成分も著しく減少している。歯槽骨表面には明らかな吸収亢進像が認められるが、歯根では舌側根尖が僅かに吸収されているに過ぎず、内面には象牙前質の形成が見られる。

d. 50 g, 100 g の実験群(図 12, d, e)。歯根尖

および周囲歯槽骨表面には著明な吸収亢進像が見られる。50 g の実験群においては基底部歯胚組織は消失し全く認められないが、100 g の実験群においては舌側根尖近くに島状に遊離しているが、唇側根尖では硬組織に連つて折れ曲つて存在し、ここに象牙質の形成も認められる。根尖周囲の歯根膜および歯髄の結合組織は線維芽細胞を多く含む密な線維性結合組織に置換され、唇側歯根表面の1部および歯髄の基底側¹⁾には骨様硬組織の形成が認められる。硬組織形成部より歯冠側の歯髄は、100 g の実験群では退行変性をおこし、象牙芽細胞は痕跡をとどめるにすぎない。

e. 200 g の実験群(図 12, f)。歯根尖は著明に吸収され、基底部歯胚組織も消失している。根尖周囲の歯根膜および歯髄の結合組織は線維芽細胞を多く含む密な結合組織に置換されている。歯髄内には数個の石灰化物が認められるが、歯髄に面する歯根内面には象牙前質の形成は認められない。歯髄、歯根膜には血管成分は少い。

2. 萌出力の大きさに関する病理組織学的考察

7 g 以下の実験群に見られる組織像は、どの例でも殆んど同じである。それは、これらの実験群

図 12 実験歯根尖部の組織像

a: 2g の実験群 b: 7g の実験群 c: 10g の実験群 d: 50g の実験群
e: 100g の実験群 f: 200g の実験群

ではどれも実験条件が類似していたことによると思われる。すなわち、萌出中の歯がそれを止めうる大きさの抑制力に出合つてはじめて萌出を停止し、その状態が約1週間続いた後に屠殺され、標本にされたためであろう。これらの実験群に見られる組織変化は、歯根表面のゆるやかな凹凸であれ、根尖周囲歯根膜の圧縮であれ、どれも正常時に見られる組織像の量的変化であり、歯根吸収や結合組織の変性などで表わされる組織の質的变化

とは明らかに区別できるような思われる。このような見方をすれば、10g の実験群に見られる組織像は、たとえば歯根の folding や歯髓血管成分の減少はいわば量的変化であり、唇側歯根表面の骨様硬組織の形成はいわば質的变化であろう。20g 以上の実験群では歯根尖および根尖部歯槽骨の吸収、歯髓および根尖部歯根膜の密な結合組織への置換、さらには歯髓内結合組織の骨様硬組織の形成など、質的变化がますます多く認められること

になる。

従つて、組織変化から見て実験群を7g以下の実験群と10gの実験群、さらに20g以上の実験群の3群に大きく分けて考えることができよう。つまり、家兎上顎切歯根尖およびその周囲組織にとって、7g前後の力、10g前後の力、20g前後以上の力は単にその大きさが異なるばかりでなく、生物学的に異なつた意味を持つてゐるのではないかと推測される。切歯根尖部の病理変化が以上のように3群に分けられ、しかもMassler & Schour(1941)¹⁾の言うように萌出力の発現部位が根尖に局在するものならば、逆にこれらの病理変化を有する歯のその時点での実効的な萌出力も3群に分れるはずである。いま、これらの病理変化と対応する力として屠殺時の作用力の大きさを見ると、7g以下の実験群では平均11.6g(4.5~13.8g)、10gの実験群では平均9.3g(8.1gと10.5g)、20g以上の実験群では平均7.3g(4.2~10.5g)の値を示す。これらの数値の差にもし意味があるとすれば、根尖周囲組織の病理変化の差がここに表われていると考えられるだろう。

いずれにせよ、7gという力の値は根尖周囲組織にとって生物学的な一つの閾値、つまり、根尖周囲組織が生理的な状態を保ちうる力の限界を示すものと見なすことができる。しかし、物理的な力と生物学的な組織反応との結びつきに関しては、さらに種々な機械的力に対する歯根および歯周組織の変化を時間を追つて詳細に観察する必要がある。

VI. 総 括

歯の萌出機序を解明する1手段として、家兎上顎切歯の萌出力の大きさを調べた。まず家兎の上顎骨に力の固定源となる保持装置を打込み、他方上顎切歯唇面にはフックを植立した。これらの間にゴムリングをかけ、その張力を用いて切歯に種々の大きさ(2, 5, 7, 10, 20, 50, 100, 200gの8段階)の萌出抑制力を加え、それによる切歯の萌出量の変化を観察した。

予備実験として、実験に用いるゴムリングの荷

重と長さの関係、長時間荷重による疲労の程度を求め、その使用条件を決定した。

本実験の結果は次の通りである。

1. 初めの作用力の大きさが5g以下の場合、切歯の萌出は継続したがその速度は減少し、これにともなつてゴムリングの長さが増すため作用力が増加し、萌出は停止した。

2. 初めの作用力の大きさが7g前後の場合、2例のうち1例は僅かに萌出を継続して停止し、1例は作用力の方向に僅かに圧下されて停止した。

3. 初めの作用力の大きさが10g前後以上の場合、切歯は圧下され、これにともなつて作用力が減衰するとその速度は減少し、圧下は停止した。

以上の結果から、7g前後の力で歯の萌出を停止させることがわかつた。歯の萌出力は歯の萌出を停止させる力に等しいと考えることができるから、これはそのまま萌出力の大きさと見なすことができる。

屠殺後、実験歯の根尖部歯周組織変化を観察すると、a) 初めの作用力の大きさが7g前後以下の場合、根尖部歯根膜の圧縮、歯根尖のやや急角度な折れ込みが認められたが、歯根内面での象牙前質の形成、歯髓基底部での細胞稠密帯の存在も認められ、歯槽骨表面および歯根には吸収窩は認められなかつた。しかし、b) 初めの作用力の大きさが10g前後以上の場合、歯根尖の著明な折れ重なり、歯根尖および根尖部歯槽骨の吸収、歯髓および歯根膜の線維化ないしは線維芽細胞を多く含む密な結合組織への置換、骨様硬組織の異常形成等の病理変化が認められた。

以上の組織所見から考えて、7g前後の力は根尖部組織が生理的な状態を保ちうる限界を示すものと思われる。

VII. 結 論

家兎上顎切歯の萌出力は、ある程度の個体差はあるが、7g前後である。この大きさの力は、家兎上顎切歯にとって、歯根および根尖周囲組織が生理的な状態を保ちうる限界を示すものである。

終りに、終始懇篤なる御指導と御校閲とをいただいた三浦不二夫教授、三村二教授、石川梧朗教授、村松篤良教授に心から感謝します。また、種々の御教示をいただいた矯正学教室、口腔病理学教室、写真室ならびに実験動物飼育舎の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Massler, M. & Schour, I. : Studies in tooth development ; theories of eruption, *Am. J. Orthodontics*, 27 : 552-576, 1941.
- 2) Ness, A. R. : *Advances in oral biology*, Vol 1, New York and London, 1964, Academic Press, 33-75.
- 3) Sicher, H. : Tooth eruption : The axial movement of tooth with limited growth, *J. Dent. Res.*, 21 : 395-402, 1942.
- 4) Medak, H., Weinreb, M., Sicher, H., Weinmann, J. P. & Schour, I. : The effect of single doses of irradiation upon the tissues of the upper rat incisor, *J. Dent. Res.*, 31 : 559-574, 1952.
- 5) Taylor, A. C. & Butcher, E. O. : The regulation of eruption rate in the incisor teeth of the white rat, *J. Exptl. Zool.*, 117 : 165-188, 1951.
- 6) Storey, E. & Smith, R. : Importance of force in orthodontics : Design of cuspid retraction springs, *Australian J. Dent.*, 56 : 291-304, 1952.
- 7) Schwarz, A. M. : *Lehrgang der Gebissregelung*, Band 2, Wien und Innsbruck, 1956, Verlag Urban & Schwarzenberg, 6-72.
- 8) Reitan, K. : *Vistas in orthodontics*, Philadelphia, 1962, Lea & Febiger, 69-84.
- 9) Bryer, L. W. : An experimental evaluation of the physiology of tooth eruption, *Intern. Dental J.*, 7 : 432-478, 1957.
- 10) 倉島晃一 : 歯周組織の力学的性状に関する研究, とくに歯根膜および歯槽骨について, *口病誌*, 30 : 361-385, 1963.
- 11) Ness, A. R. : The response of the rabbit mandibular incisor to experimental shortning and to the prevention of its eruption, *Proc. Roy. Soc. (London) Ser. B.* 146 : 129-154, 1956.