正常および病的な歯周組織の共振振動数の測定

——歯周組織の生物学的診断の新しい方法——

加 藤 熙

東京医科歯科大学歯学部第2歯科保存学教室（指導：今川与曹教授）

（昭和42年11月29日受付）

Measurement of Resonance Frequency of normal
and pathological Periodontium
—New Method of periodontal Examination—

Hiroshi Kato

Department of Periodontology School of Dentistry
Tokyo Medical and Dental University
(Director : Prof. Yoso Imagawa)

目 次

I 緒言

II 歯周組織の共振振動数測定装置と測定方法

A 振動による粘弾性の測定

B 歯周組織の共振振動数測定装置

C 測定方法

III 臨床応用のための基礎的実験

A 再現性について

B 生理的な変動について

C 正常な歯周組織の共振振動数

D 小括

附 Mühlemann の動揺度測定装置 (Periodntometer) による動揺度と共振振動数との関係について

IV 歯周疾患の診断への応用

A 病的な歯周組織の共振振動数の測定

a) 実験材料および方法

b) 結果

1) 歯槽骨の吸収度との関係

2) 歯周ポケットの深さとの関係

3) 咬合性外傷との関係

4) 歯肉の肉眼的炎症度との関係

B 歯周疾患の治療効果の判定への応用

a) 実験材料と方法

b) 結果

V 考察

VI 総括

VII 結論

VIII 文献

I. 緒 言

歯周組織は歯を支持し、歯に作用する力を負担するとともに、咀嚼圧が直接顎骨に衝撃となつて波及することがないように緩衝する機能を持つてゐる。歯周組織のこのような作用は、歯の本来の機能である咀嚼を安全円滑に行なううえに必要欠くべからざるものである。したがつて歯周病学をはじめ、あらゆる歯科領域において歯周組織の機能が正常か病的かを正しく、客観的に知することは、咀嚼機能の回復を窮極の目的とする歯科治療にとって、非常に重要なことである。

歯周組織の状態を知る方法として、肉眼的臨床検査、組織学的検査、X線学的検査、生化学的検査などがおこなわれているが、これらの方法の多

くは歯周組織の病態を形態学的に観察しているのにすぎない。

一方機能的な面から客観的に歯周組織の状態を検査する方法として、古くから歯の動揺度の測定がおこなわれているが、これら従来の動揺度の測定法の多くは¹⁻¹⁵⁾、歯の唇-舌面または咬合面に荷重を加え、それによる歯の移動距離を、鏡⁵⁾やダイヤルゲージ^{2) 6) 8) 12)}またはストレンゲージ^{10) 11) 13-15)}などを用いて測定し、歯の移動距離をもつて動揺度としていた。

しかしこれらの方法は、歯周組織をたんなる弾性体、すなわち力を加えると瞬間的に歯の変位(歯周組織の歪)が現われ、力を除くと瞬間的に歪が消失する(歯が原位置に戻る)という仮定のもとに測定をおこなっていた。

一方倉島¹⁶⁾は、荷重と歯の変位を電氣的装置を用いて記録し、歯周組織の力学的性状を、力、変位、時間の3面から観察した結果、歯周組織はたんなる弾性のみを有するのではなく、粘性をあわせ持つ粘弾性体であることを明らかにした。したがって、歯周組織に病的な変化がおこれば、その粘弾性にも変化がおこっているものと考えられる。倉島はまた歯と歯周組織は一定の固有振動数を有し、振動を加えた場合に共振現象がおこることを記録した。

このことは歯周組織の粘弾性を測る方法として動的測定法を応用することができることを示しており¹⁷⁾、歯周組織に振動を加えて共振振動数を測定することによって、その粘弾性の変化を知ることができる。すなわち共振振動数を調べることは、歯周組織の健康および病的状態を知る方法として、従来の動揺度測定法とはことなつた面から、歯周組織の生態を客観的かつ定量的に検索するのに役立つと考えられる。なおこのような方法を用いて歯周組織を検索し、これを歯周疾患の臨床に使用している報告はみられない。

この研究の目的は倉島が用いた共振振動数測定装置に改良を加え臨床で用いることができるようにし、正常および病的な歯周組織の共振振動数を測定することにより、歯周疾患の診断および治療

効果の判定に応用しうるかどうかを検討することである。

II. 歯周組織の共振振動数測定装置と測定方法

A. 振動による粘弾性の測定

物質の粘弾性を動的に測定する方法として振動数変化法がある^{17) 18)}。

これは被験体に振動数を連続的に変えながら振動を加え、試料の共振振動数を測定し、それから粘弾性の諸定数を求める方法である。

本実験はこの方法を歯周組織に応用したもので、歯周組織の共振振動数を測定することによって、その粘弾性の変化、すなわち歯周組織の機能的様相や病態を知ることができると考えられる。

被験歯に $F \sin \omega t$ の周期的な振動を加えると、歯に生ずる振動は次式で示される^{18) 19)}。

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + kx = F \sin \omega t \cdots \cdots (1)$$

F : 振動力

m : 可動部分の質量(歯・励振器のコイル・振動子の質量の和)

γ : 歯周組織の粘性定数

k : 歯周組織の弾性定数

x : 歯の変位

ω : 角速度 $\omega = 2\pi f$ f : 振動数

この式において振動振幅が最大になる振動数すなわち共振振動数 ω_0 を求めると

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{\gamma^2}{2m^2}} = \omega_n \sqrt{1 - \frac{\gamma^2}{2mk}} \cdots \cdots (2)$$

が得られる(解法は省略)。 ω_n はこの振動系の固有角振動数であり、 $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ である。

$F \sin \omega t$ の振動を加えられた被験歯は歯周組織の粘性によって振動エネルギーが吸収され、式(2)に示されるように固有角振動数より小さい振動数において振動振幅が極大となり、共振が生ずる。

式(2)における可動部分の質量 m はほぼ一定と考えられるから、共振振動数は歯周組織の弾

左：自動掃引発振器，増幅器，X-Y レコーダー，インピーダンスブリッジ，励振器架台

右：測定ヘッド（励振器）

図1 共振振動数測定装置

性 k と粘性 γ によつて変化すると考えられる。すなわち弾性の増加あるいは粘性の低下は共振振動数の増加となり，逆に弾性の低下あるいは粘性の増加は共振振動数の低下となつて現われる。

B. 歯周組織の共振振動数測定装置

この装置は，歯に連続的に周波数を変化させて振動を加え，歯周組織の共振振動数を測定する装置である。

装置の主体は自動掃引発振器，励振器（測定ヘッド），増巾器，X-Y レコーダー，インピーダンスブリッジ，測定ヘッドの微動調整装置からなつている（図1）。

装置の組合せの概要はブロックダイアグラム（図2）に示すようである。自動掃引発振器に組込まれた電圧制御発振器によつて，100 c/s から 600 c/s までの周波数を一定速度で自動的に掃引発振させ，その出力を励振器の駆動コイルに入れて，その中心軸を介して歯に振動を加える。また同時に歯の振動速度に比例した電圧を励振器の検出コイルから得て，これを増巾器に加え同期整流回路で整流してのち，X-Y レコーダーのY軸に

入れる。したがつてY軸上には歯の振動振巾に比例したペンの振れが記録される。一方周波数に比例する三角波発生回路の出力電圧を掃引発振器から取出して，これをX軸に入れ周波数のスケールとする。なお測定に際しては歯に加わる静的測定圧を一定にするために，検出コイルの位置の変化によるインダクタンスの変化を検出し，この値を予め力量により較正しておいて条件を一定にするようにした。

実験に使用した各装置の定格は次の通りである。

1. 自動掃引発振器（低周波特性直視装置）*

この装置は自動掃引式発振器とそれに附属するブラウン管部とからなつており，掃引周波数に比例する直流出力端子をもっている。掃引発振器の周波数は電圧制御方式により鋸歯状波（三角波）を加えて，100 c/s から 600 c/s までを毎秒 50 c/s の掃引速度で変化することができる。

2. 励振器**

* 国洋電機製 FCR-4C 型

** コーラル音響製 G-3A 型

図2 歯周組織の共振振動数測定装置回路ブロックダイアグラム

これは永久磁石とコイルとからなる電磁型加振器で、発振器からの電流を駆動コイルに加えることにより、電磁的な振動力を発生する。一方同軸上にもうけられた検出コイルは振動速度に比例した電圧出力を得ることができる。なおこの励振器は図1に示すように微動装置を搭載した架台（オリンパス製）にとりつけられており、歯面に対する励振器の位置および傾きの微少な調整が可能である。

励振器の振動軸先端はh字状に4mm離れたところに突起が出ており、これを被験歯の切縁にあてることによつて振動軸はいつも一定の位置（切縁より歯頸側へ4mmの所）で歯面と接することができる。なお励振器の固有振動数は74c/sであり、このものは歯周組織の共振振動数100c/s～500c/sには影響を与えていないと考えられる。

3. 増巾器*

励振器の検出コイルからの出力を増巾するため

に用いる。掃引発振器の周波数帯域における増巾度は一定である。この出力は別に附属している同期整流回路に加えられて、直流出力を得られるように結線されている。

4. インピーダンスブリッジ

これは検出コイルのインピーダンスを測定する計器である。共振振動数の測定条件を一定にするために、測定の初めに本計器により励振器の検出コイルのインピーダンスを測定し、測定ヘッドの位置を調整して、励振器の振動軸が歯面を押す圧力を一定（200g）にするのに使用した。

5. X-Yレコーダー*

X, Y二軸の変化を記録する計器である。X軸には発振周波数に比例した電圧、Y軸には歯の振動振巾に比例した電圧を入れX-Y軸からなる二次元面に共振曲線を描かせることができる。実際に得られた共振曲線の一例を図3に示す。共振周波数はこの図における曲線の極大値に相当するX

* 日本測器製 354-A 型

* 理研電子製 F-32 型

図3 X-Y レコーダーにより記録された共振曲線。振動速度はA点から振動数が高くなるにつれ増加しB点で極大値をとり、再び減少してC点に達する、すなわちB点の振動数(400 c/s)が共振振動数である。なおC点からA点への曲線は発振振動数が瞬間的に出発点にもどるため、ペンがこれに追従して記録されたもので共振振動数の観察には関係ない。

軸上の周波数のプロットから読みとる。

C. 測定方法

被験者をベッドに仰臥させ、頭部を硬い枕で固定し、臼歯部に小さな木片を咬ませて被験歯が対合歯と接触せず安定を保つようにする。励振器がとりつけてある特殊架台の微動送り装置を動かして、励振器の位置と傾きとを調整する。この際振動軸を歯の長軸に対し垂直になるようにし、また加振点は唇面の切縁から歯頸側へ4 mmの所で、近遠心的中央部とする。この調整にあたっては振動軸の尖端の突起部を切縁に接するようになると、自動的に切縁から4 mmの所で唇面と振動軸は接するようになる。インピーダンスブリッジの振れを観察して、前述のように振動軸が歯面を押す圧力を一定にする。こうして準備を終えたならば、発振器の出力を励振器に入れて測定を開始する。被験歯の振動は電氣的に変換されてX-Yレコーダー上に自動的に記録される。

なお測定前後には自動発振器を手動に切り変えて、周波数の校正をおこなう。これにより記録紙上で振巾が極大値を示す振動数を読みとり、共振振動数を得る。測定は必ず3回以上くり返しておこない、その平均値をもつて測定値とする。

III. 臨床応用のための基礎的実験

歯周組織の共振振動数測定法を臨床に応用できるようにするためには、基礎的な実験として、つぎのような点を明らかにしておくことが必要と考えられる。すなわち、

1 作製した測定装置が臨床に使用するのに十分な再現性をもっているか、

2 歯周組織の共振振動数の生理的変動はどの程度であるか、

3 正常な歯周組織の共振振動数の範囲、を知っておかなければならない。そこでこれらのことがらを明らかにする目的で、次の3つの基礎実験をおこなった。

A) 実験 I 再現性について

作製した測定装置を用いて一定の対象を反覆測定した場合、十分な再現性があるかどうかを確かめる目的で、模型および生体について実験をおこなった。

実験材料と方法

a) 模型上での測定

生体における生物学的変化をさけるため、まず歯と歯周組織の模型をつくり、これについて共振振動数の測定をおこない、再現性を検討した。人工の歯周組織としては、予備実験において人間の歯周組織に割合近い共振振動数を示したラバーベース印象材を使用した。歯はほぼ正常な形態の上顎中切歯の抜去歯をもちい、歯根部を溶けているワックスの中へ出し入れして、0.3 mmの厚さに均等にwaxが被うようにした。次にその歯根部を縦3 cm、横4 cm、高さ2 cmの立方形の石膏の中へ埋没し、硬化後コアを取り、ワックスを溶かし出してラバーベース印象材におき変えた。

すなわち人工歯周組織であるラバーベース印象材は、厚さ0.3 mmで歯根部全面を被っていることになる。

共振振動数の測定は、装置の所で述べた方法にしたがっておこない、3度ないし4度くり返し測定し、その平均値をもつてその時の測定値とした。そして2週間の間隔をもつて5回すなわち

10週間にわたって測定し、その測定値にどの程度差が生じるかを調査した。

b) 生体における測定

被験者として男23人、女11人、計34名（18歳～30歳）を選び、上顎中切歯と側切歯について歯周組織の共振振動数を測定し、さらに一日づつの間隔をおいて、第2回および第3回の測定をおこない比較検討した。

結果

模型を用いた場合は図4に示すように、3度以上繰り返し測定をおこなっても、ほとんど同じ軌線を示し、再現性は非常に高いものであった。

図4 ラバーベースを人工の歯周組織とした模型の共振曲線、3回反復測定の軌線がまったく一致して一本の曲線のようにになっている。

なお2週間の間隔で10週間にわたり5回測定した模型での共振振動数の平均値は285 c/s、標準誤差は ± 2.20 であり、信頼率95%での信頼区間巾は ± 6.10 c/sであった(表1)。

生体での測定に関しては、模型と同じように3度ともほとんど同じ軌線を描くものと、ややずれた軌線を描くものとがみられた。(図3, 7)一日の間隔をおいて3回測定した共振振動数について、第1回と第2回および第3回の測定の差を比較し、その結果を表2に示した。

差の総平均は7.1 c/s、標準誤差は ± 4.6 c/sであった。なお信頼率95%で信頼限界を求めると、 $16.4 \text{ c/s} \geq \bar{d} \geq -2.2 \text{ c/s}$ ($\bar{d}$ は差の平均)であった。

表1 模型を使つた場合の再現性
(2週間の間隔で5回測定)

		繰返し測定				
		1	2	3	4	平均
2週間測定の 間隔	第1回	280	282	282	283	282 c/s
	第2回	288	286	288	288	288 c/s
	第3回	278	280	280	280	280 c/s
	第4回	284	284	284	280	283 c/s
	第5回	290	292	292	293	292 c/s
平均						285 c/s

標準誤差 ± 2.20

区間幅 ± 6.10

(信頼率95%)

表2 生体の場合の再現性
(1日間隔で3回測定)

部位	N	$\bar{x}_1$	$\bar{d}_1$	$\bar{d}_2$	δd_1	δd_2	L_1	L_2
1]	34	401	9.0	11.2	± 4.4	± 4.9	± 8.8	± 9.8
1]	34	399	1.3	2.7	± 4.4	± 5.2	± 8.8	± 10.4
2]	34	420	9.3	12.1	± 4.6	± 4.5	± 9.2	± 9.0
2]	34	421	5.5	5.6	± 4.6	± 4.7	± 9.6	± 9.4
平均	136	410 c/s	7.1 c/s		± 4.6 c/s		± 9.3 c/s	

N: 被験歯数

$\bar{x}_1$: 1回目測定の平均値

$\bar{d}_1$: 1回目測定値と2回目測定値との差の平均

$\bar{d}_2$: 1回目 " 3回目 " "

δd : 差の標準誤差

L: 信頼率95%での区間幅

FM: 誤差, (%)

$d \pm L$: 差の信頼限界 (信頼率95%)

$$FM = \frac{d \pm L}{\bar{x}} \times 100 = 4.0\%$$

すなわち同一被験歯について一日間隔で反覆測定しその差を求めた結果、差の平均値は7.1 c/sであり、その存在範囲は16.4 c/sと-2.2 c/sの間と推定される。測定誤差を「差の信頼限界」/「測定値」 $\times 100(\%)$ として求めると約4.0%であり、臨床に十分使用することができる再現性があると認められた。

B. 実験 II 生理的な変動について

歯周組織の性状は生理的な咀嚼や会話、さらにはまたなんらかの全身的な因子などによっても影

響をうけることが考えられ、ひいてはその共振振動数にも変動が起こることが考えられる。この生理的な変動の範囲は、治療効果の判定など長期間にわたる観察をおこなう場合に、重要な基礎的判定基準となるものである。そこでこのような生理的な変動が起こるかどうか、起こるとすればどの程度のものかを知る目的で、次の実験をおこなった。

実験材料と方法

被験者としてごく軽度の歯肉炎のある男性2人(29歳)を選び、上顎中切歯と側切歯合計8歯について、9日間毎日ほぼ同時刻(午後5時~6時の間)に5回くり返して共振振動数を測定し、その変動範囲を調べた。なお測定期間中には被験歯に対し治療処理をまったくおこなわず、また平常通りの生活をおこなわせた。

図5の1 被験者(A) 29歳男

図5の2 被験者(B) 29歳男

図5 9日間毎日同時刻に測定した歯周組織の共振振動数の変動

結果

被験歯8本について9日間毎日一定時刻に共振振動数の測定をおこなった結果を図5に示す。9日間における1日単位の変動と、1日のうちで一定時刻に5回繰り返し測定したなかでの変動とを比較すると、統計学的に9日間における1日単位の変動の方が明らかに大きく、共振振動数には生理的な変動があると思われた。各々の歯の平均値について区間推定をおこない、95%の信頼率で信頼区間を求めると、区間巾は平均 ± 9 c/sであり、最も大きい区間巾は ± 14 c/sであった(表3)。

表3 9日間毎日測定した歯周組織の共振振動数の区間幅

部 位		1]	1]	2]	2]	平均
被験者 (A)	平均値 c/s	413	405	417	419	413
	区間幅 c/s	± 8	± 5	±10	± 7	±7.5
被験者 (B)	平均値 c/s	369	381	395	401	387
	区間幅 c/s	±12	± 8	±14	± 9	±10.8

総平均値 : 399 c/s 区間幅 : ± 9.1 c/s
(区間幅 : 信頼率 95 % で信頼限界を求めた場合のもの)

これらの結果、生理的な変動の程度は平均 ± 9 c/s程度と考えられ、測定誤差の範囲を考慮に入れると、 ± 25 c/s以上の変化を示したものは歯周組織の粘弾性に変化が起こったものと推測される。

C. 実験 III 正常な歯周組織の共振振動数について

この診査方法を臨床において歯周疾患の診断に応用するにあたって、最も重要な基準となるのは正常値である。そこで正常な歯周組織の共振振動数を知る目的で、次の実験をおこなった。

実験材料と方法

この実験に用いた者は、全身的に健康でありかつ歯周疾患のない正常な歯周組織を有するもの、男15名、女10名、計25名(年齢は18~29歳)である。

なお被験歯は男性では上顎中切歯と側切歯、女性では中切歯とし、まず臨床的にくわしく検査を

おこなった。すなわち被験歯は歯周ポケットを持たず、歯肉溝の深さは1 mm 前後で、肉眼的な歯肉の炎症や歯列不正、外傷性咬合がなく、X線写真による診査でも歯槽骨の吸収や歯根膜の拡大のないもののみとし、それ以外のものは被験者から除外した。測定は男性では隔日に5回、女性は2週間の間隔をおいて3回おこなって、その平均値をもって被験歯の測定値とした。

結果

測定の結果は図6に示した。

図6 正常な歯周組織の共振振動数

すなわち正常な歯周組織をもっている上顎右側中切歯の平均値は、男性では442 c/s、女性では444 c/s、左側中切歯は436 c/s と、431 c/s であり、男女の間および右側と左側の間には有意の差が認められなかった。なお信頼率95%の両側推定による信頼限界を求め、最も信頼区間巾を大きくすると正常値Mは男では414 c/s 以上であり、女では419 c/s 以上であった。

側切歯については、平均値が右側は458 c/s、左側は454 c/s で、中切歯よりやや高い共振振動数を示した。なお信頼率95%で信頼限界を求めると、正常値Mは434 c/s 以上であった。

D. 小括

図7の1 正常な歯周組織の共振振動数曲線(440c/s)

図7の2 正常な歯周組織の共振曲線と被験歯のX線写真
25歳の男, 1, 共振振動数: 440 c/s

歯周組織の共振振動数測定法を歯周疾患の診断や治療効果の判定などに応用するための基礎として、作製した測定装置の再現性、共振振動数の生理的変動、正常な歯周組織の共振振動数を明らかにする目的で3つの実験をおこなった。

1. 測定装置の再現性については、模型および生体について検討した。模型では3回の測定ともほとんど同じ軌線を示したが、生体ではややずれるものもみられた。しかし1日の間隔をおいて測定した場合の差の平均は7.1 c/s で、その存在範囲は16.4 c/s から-2.2 c/s、誤差は4.0%以下であり、臨床に十分使用することができる再現性をもっていると思われた。

2. 歯周組織の共振振動数には生理的変動がみられ、その区間幅（範囲）の平均は±9 c/s であつた。

3. 正常な歯周組織をもつ上顎中切歯の共振振動数は、男では414 c/s から458 c/s、女では419 c/s から462 c/s の範囲に存在した。また上顎側切歯は434 c/s から474 c/s の範囲に存在し、中切歯よりやや高い共振振動数を示した。なお男女の間および左側と右側との間には、ほとんど差が認められなかつた。

附 Mühlemann の動揺度測定装置 (Periodontometer) による動揺度 と共振振動数との関係について

歯周組織の新しい診査法として、その状態を粘弾性の面から観察し、これを振動によつて動的に測定する歯周組織の共振振動数と、従来から臨床で多く使用され非常に優れていると考えられている Mühlemann の動揺度測定器(Periodontometer) による動揺度、すなわち歯へ荷重した場合の歯冠の移動距離との比較をおこない、その間の関係について観察を試みた。

実験材料と方法

被験者として前歯部の歯列および歯肉の状態が肉眼的にほぼ正常で、齲蝕や補綴物の無いもの男10人と女11人、計21人（年齢は19歳から30歳）を選んだ。測定部位は上顎中切歯とし、まず作製した共振振動数測定装置をもちいて共振振動数を測定し、次に10分間の間隔をおいて Mühlemann の作った動揺度測定器すなわち Periodontometer を用いて、唇側方向への動揺度を測定した。

Periodontometer はモデリングをトレー部に盛つて臼歯部で咬ませて固定し、Forcemeter で被験歯の舌面中央部へ500 g の力を荷重し、ダイヤルゲージで歯冠の唇側方向への移動距離を測定した。

測定は誤差を少なくするため、必ず3度くり返しておこない、さらに生理的な変動を考慮に入れて、1日間隔で3日測定し、その平均値をも

図8 共振振動数と Periodontometer を用いた歯の動揺度との関係

図8 Mühlemann の動揺度測定装置
(Periodontometer)

左: Forcemeter (荷重器)

右: ダイヤルゲージと顎内固定用トレー

つてその歯の動揺度とした。なお被験歯としては歯肉の肉眼的な炎症がほとんど無いものを選んであるが、X線や咬合の検査をおこなつておらず、軽度の歯根膜の拡大や外傷性咬合を有するものも含まれていると思われた。

結果

歯周組織の共振振動数と Periodontometer による歯の動揺度との関係を図8に示す。すなわち従

来の装置を用いて測定した場合の動揺度が大きいものは、共振振動数が低い値を示す傾向がみられ、相関係数 r を求めると $r = -0.602$ で、1%の有意水準で相関関係があると認められた。しかしながら両者がまったく直線的な関係にあるのではなく、同じ動揺度を示している症例でも、共振振動数は一定でなく、例えば動揺度が $7 \times 1/100$ mm であつても共振振動数は 336 c/s の低いものと、428 c/s の高いものとがみられた。

IV. 歯周疾患の診断への応用

さきにおこなった基礎的実験の結果から、歯周組織の共振振動数測定法は歯周疾患の定量的な新しい検査法として、臨床にも研究にも使用することができる様に思われた。

そこで実際に臨床において使用して、この方法の臨床的な有用性について検討をおこなった。

実験はⅠ部とⅡ部の2つからなっており、実験Ⅰとして病的な歯周組織の共振振動数を測定し、正常な歯周組織のそれと比較するとともに、歯周組織の臨床症状すなわち歯槽骨の吸収の程度、歯周ポケットの深さ、外傷性咬合の有無、歯肉の炎症程度などをくわしく診査し、これ等と歯周組織の共振振動数との関係を調べた。

実験Ⅱとして歯周疾患の罹患歯に対し治療処置をおこない、処理の前後に共振振動数を測定し、治療効果の客観的かつ定量的な判定を試みた。

A. 〔実験Ⅰ〕 病的な歯周組織の共振振動数の測定

a) 実験材料および方法

実験材料

この実験に用いた被験者は、東京医科歯科大学歯学部附属病院を訪れた辺縁性歯周炎を有するものの92名で、その内訳は男性31名（年齢は18歳～59歳、平均33.0歳）と、女性61名（年齢は18歳～60歳、平均33.5歳）であつた。測定部位は上顎中切歯と側切歯とし、この部位に橋義歯や強い歯列不正を有するものは被験者から除外した。

実験方法

図9の1 病的な歯周組織の共振振動数曲線 (312 c/s)

図9の2 病的な歯周組織の共振曲線と被験歯のX線写真

29歳、女、Ⅰ 中程度の慢性辺縁性歯周炎に罹患、共振振動数：312 c/s

作製した共振振動数測定装置をもちいて被験歯の共振振動数を測定した。測定は装置のところで述べた方法でおこない、3回以上繰り返し測定して、その平均値をもつて測定値とした。

次に被験歯のX線撮影をおこなうとともにポケットの深さ、外傷性咬合の有無、歯肉の炎症程度を検査した。

ポケットの深さは2 mm単位に目盛のついた薄型のポケット探針を用いて、被験歯の唇、舌、

近, 遠心の4点について測定し, その4点の平均値をもつて測定値とした。

外傷性咬合は, 主に指先の触診による検査法, すなわち1指対2歯の状態に歯に指をあてがつて, 中心咬合, 前方運動および側方運動をさせ, その時の歯の動揺や振動から外傷性咬合の有無を診断した。評価方法は外傷性咬合がまったく無い場合は0点, 中心咬合, 前方運動, 側方運動のうち1つにのみあれば1点, 2つにあれば2点, 3つにあれば3点とした。

歯肉の炎症程度は歯肉を1歯につき近心, 遠心乳頭部, 唇面の辺縁部, 附着歯肉部, 舌側部の5面に分けて肉眼的に検査し, 炎症が明らかに存在すれば2点, 有るか無いか判定に苦しみ場合は1点, まったく無い場合は0点として評価し, その合計点を炎症度とした。

X線撮影は等長投影法をもちいて右側の中切歯と側切歯に対して1枚, 同じく左側に1枚, 計2枚撮影し歯槽骨の吸収度を検査した。

歯槽骨の吸収度はこのX線フィルム上で, エナメル・セメント境から根尖までの長さに対する根尖から歯槽骨頂部までの長さの割合で評価した。判定は透過光のもとで Schei²⁰⁾等が使ったと同様

の基線上の一点から放射状に等角度で10本の線が引いてある透明な定木を, X線フィルム上にのせておこなった。まず定木の基線をエナメル・セメント境にあわせ, 次に定木を平行に動かして10本目の線が根尖の上に来るようにした場合に, 歯槽骨骨頂がどの線の間に存在するかを観察し, 基線と第1線の間にあれば1度(10%以内), 第1線と2線の間にあれば2度(20%)という様に評価した。なお評価に際しては歯根膜腔がほぼ正常の厚さの所を歯槽骨頂とし, 近心側と遠心側とを別々に測定し, その平均値をもつて骨吸収度とした。

b) 結果

被験者92名の上顎中切歯, 側切歯計348歯の共振振動数は106 c/s から496 c/s まで幅広く分布しており, 平均値を求めると中切歯は334.8 c/s, 側切歯は364.1 c/s であり, 正常な歯周組織の共振振動数に比較して低下していた(図9)。

次に種々な臨床症状と共振振動数との関係について述べる。

(1) 歯槽骨の吸収度との関係

歯槽骨の吸収度と共振振動数との関係を図10に示した。男, 女および中切歯, 側切歯とも同様

図10の1 歯周組織の共振振動数と骨吸収度との関係 (111)

図 10 の 2 歯周組織の共振振動数と骨吸収度との関係 (2|2)

図 11 歯周組織の共振振動数と歯周ポケットの深さとの関係

な傾向すなわち骨吸収が進むにつれて共振振動数が低下する傾向を示し、相関係数 r を求めると 1% の有意性をもって相関関係のあることが示され

た。とくに女性の上顎中切歯は、 $r = -0.874$ で最も高い相関係数を示した。

(2) ポケットの深さとの関係

ポケットの深さと共振振動数との関係を図 11 に示した。ポケットの深いものは共振振動数が低くなる傾向がみられた。またさきに観察したように歯槽骨の吸収程度は共振振動数に強い影響を与えているので、歯槽骨の吸収度が同程度のもののみを選択して 1 つの群とし、その群の中でポケットの深さと共振振動数との関係を調べ図 12 に示した。ポケットが 2 mm のものと 4 mm のものを統計学的に比較すると、骨吸収がみられないかごく骨吸収の少ない群 (0 度と 1 度) では有意の差が無く、中程度 (2 度) の群と高度 (3 度以上) の群では 5% の危険率で有意の差を示した。

(3) 外傷性咬合との関係について

外傷性咬合についてもポケットの深さの場合と同様に、骨吸収の程度によつて症例を 3 群に分けて観察した (図 13)。全般に外傷性咬合が強くなるにつれて共振振動数が低くなる傾向が見られた。統計的に処理をおこなった結果、外傷性咬合 0 点のものすなわち外傷性咬合がまったく無いものと、1 点のものすなわち中心咬合、前方運動、側方運動時のいずれかに外傷性咬合が存在するもの

図 12 歯周組織の共振振動数と歯周ポケットの深さとの関係
(同じ骨吸収程度のもので比較)

図 13 歯周組織の共振振動数と外傷性咬合の有無との関係

との間には、骨吸収の程度に関係なく危険率 5 % で有意の差がみられた。しかし 1 点のものと 2 点、および 2 点のものと 3 点のものとの間には有意の差は見られなかった。

(4) 歯肉の肉眼的炎症度との関係

歯肉の炎症についても、骨吸収の程度によって 3 群に分けて観察した(図14)。骨吸収がないかご

く少い群 (0, 1度) においては炎症のほとんどないもの (0~1点) は 400 c/s 附近の共振振動数を示したのに対し、炎症の強いもの (6~11 点) は 300 c/s の低い共振振動数を示すものから 400 c/s 以上の高い振動数を示すものまであり、広範囲に分布していた。骨の吸収の進んだ他の 2 群においても、これと同様の傾向が観察された。

図 14 歯周組織の共振振動数と歯肉の炎症度との関係

統計学的に炎症がほとんど無いもの（炎症度 0 点と 1 点）、中程度のもの（4 点と 5 点）、高度のもの（8 点と 9 点）を比較すると、骨吸収 0.1 度の群ではその間に有意の差はみられなかったが、骨吸収 2 度の群と 3 度以上の群とでは、炎症がほとんど無いものと高度のものとの間に有意の差がみられた（危険率 5 %）。

〔実験 II〕 歯周疾患の治療効果の判定への応用

a) 実験材料と方法

実験材料

この実験に用いた被験者は、東京医科歯科大学歯学部附属病院を訪れた前歯部に軽度および中程度の辺縁性歯周炎を有するもの男 13 名、女 35 名、計 48 名（年齢は 19 歳～44 歳）であった。

実験方法

治療はブラッシングの指導、スケーリングとブラッシングの併用、咬合調整とし、被験者を実験群と対照群に分けて、治療内容により A・B・C・D の 4 群に区分した。

A 群 25 名に対しては Stillman 改良法のブラッシングを指導し、毎食後充分にこの方法によるブラッシングをおこなわせた。なお 1 週間毎に各被験者についてブラッシングの方法をチェックし、必要に応じて再指導をおこなった。

B 群 8 名には上顎前歯部について手用スケーラーを用いて充分にスケーリングをおこなうとともに、A 群と同様 Stillman 改良法のブラッシングを指導し、これを毎食後おこなわせた。

C 群には歯肉の炎症があまり著明でなく、上顎前歯部に明らかな外傷性咬合のあるもの 8 名を選び、綿密に咬合調整をおこなった。

D 群は 7 名とし、まったく処置をおこなわず対照群とした。

測定部位は A・B・C の 3 群とも上顎中切歯と側切歯とし、D 群は中切歯のみとした。各群とも共振振動数測定装置を用いて、処置前にその共振振動数を測定し、次に A・D 群は処置後 2 週間と 4 週間に、B・C 群は 4 週間後に測定をおこない術前と比較した。なお実験中はこの部位に対して、他の治療はいつさい加えなかった。

b) 結果

A 群 ブラッシングの指導をおこなった群

Stillman 改良法のブラッシングを毎食後おこなわせてから 2 週間後には、共振振動数は中切歯で平均 11.7 c/s、側切歯では 21.4 c/s 高くなっていた。しかし統計学的には中切歯は 5 % の危険率で有意の差が認められず、側切歯はかろうじて有意の差がみられた。一方 2 週間後と 4 週間後とを比較す

図 15 歯ブラシ指導をおこなった場合の歯周組織の共振振動数の変化 (A群, 期間: 2週間と4週間)

表 4 治療処置前と処置後4週間の共振振動数の差の検定結果

処置部位	ブラッシング	スクーリングとブラッシング	咬合調整	対 照 群
1 1	△	※	※	△
2 2	※	※	※※	

△ 有意の差なし (危険率5%)
※ 危険率5%で有意の差あり
※※ 危険率1%で有意の差あり

るとほとんど差はみられなかった(図 15) (表 4)。なお共振振動数が4週間後に25 c/s以上高くなったものは、被験歯81歯のうち29歯で34.6%, 25 c/s以内の変化のものは43歯で54.3%, 25 c/s以上低くなったものは9歯で11.1%にみられた(表 5)。

表 5 治療処置前と処置後4週間の共振振動数の変化 (±25 c/s で区分)

処 置 内 容	25 c/s 以上高くなったもの	25 c/s 以内の変化のもの	25 c/s 以上低くなったもの	計
ブラッシング	29 (34.6%)	43 (54.3%)	9 (11.1%)	81 (100%)
スクーリングとブラッシング併用	12 (37.5%)	19 (59.4%)	1 (3.1%)	32 (100%)
咬合調整	13 (40.6%)	19 (59.4%)	0 (0%)	32 (100%)
対照群	0 (0%)	13 (92.9%)	1 (7.1%)	14 (100%)

図 16 スクーリングとブラッシングを併用した場合の歯周組織の共振振動数の変化 (B群, 期間: 4週間)

B群 スクーリングとブラッシングを併用した群
中切歯では平均31.3 c/s, 側切歯では21.7 c/s
共振振動数が高くなっており, 統計学的にも5%
の危険率で明らかに有意の差を示した。すなわち
ブラッシング指導のみの群よりも共振振動数が正常
に近づく傾向は著明であつた(図 16)。

C群 咬合調整をおこなった群
共振振動数は中切歯で平均18.2 c/s, 側切歯で
18.6 c/s 高くなっており, 統計学的にも中切歯は
5%の危険率で, 側切歯は1%の危険率で有意の
差を示した。なお25 c/s以上共振振動数が高くな
ったものは被験歯32歯中13歯(40.6%), 25 c/s
以内の変化のものは19歯(59.4%) 25 c/s 以上
低くなったものは見られなかった(図 17)。

図 17 咬合調整をおこなった場合の歯周組織の共振振動数の変化 (C群, 期間: 4週間)

図 18 処置を加えなかった場合の歯周組織の共振振動数の変化 (D群)

D群 対照群

最初と2週間後に測定した共振振動数を比較すると平均2.6 c/s, 2週間後と4週間後との間では平均1.5 c/sの差を示しただけであり, 統計学的にも有意の差は認められなかった(図18)。

V. 考 察

歯周組織を機能的な面から客観的に診査する方法として, 歯の動揺度の測定が行なわれている。Heinroth (1928)¹⁾や Elbrecht (1939)²⁾をはじめ Mühlemann⁶⁾¹⁴⁾, 石橋⁸⁾, Parfitt¹⁰⁾, O'Leary¹²⁾等は, 歯の唇, 舌面や咬合面に荷重を加えた場合の水平方向または垂直方向への移動距離を測定し, これを歯の動揺度とした。しかしこれらは歯周組織を単なる弾性体と考えて粘性的要素を無視し, 時間単位に対し考慮を払っておらず, さらに測定装置を顎内に固定する操作および荷重を一定にする操作に困難が多く, また反覆測定をおこなうと動揺度が大きくなる難点があった。

一方歯に振動を加えて動揺度を測定しようとする試みが Beyeler (1947)³⁾や Manley (1951)⁴⁾に

よつておこなわれている。Beyeler 等は歯に振動を加えた場合の歯の振巾を測定する装置を試作しているが, 模型実験のみで生体での測定はおこなっておらず, Manley 等は生体について測定を試みているが, 歯周組織を粘弾性体として観察しているのではなく, 弾性体として測定したものであり, 装置の再現性が悪く, 臨床に応用するまでに致っていない。

最近倉島¹⁶⁾はストレインゲージとペンレコーダーを用いて正常な歯周組織の力学的性状を力, 変位, 時間の3点から観察し, 歯周組織は弾性と粘性をあわせもつ粘弾性体であつて, 粘性を無視しては正確に歯周組織の状態を評価することができないことを確認している。したがって歯周組織の力学的性質すなわちその機能を評価する場合, 粘性と弾性の両者に対して評価できる方法を用いる必要があると考えられる。

倉島はさらに歯周組織の共振振動数の測定装置を試作し, 健全な歯周組織を持つ20歳~23歳の女子の上顎中切歯および歯槽膿漏症に罹患している2歯について測定をおこなっているが, これを

臨床に応用するまでには致っていない¹⁶⁾。

本実験は歯周組織が粘弾性体であることを重要視し、その粘性と弾性を評価する方法として、動的測定法すなわち共振振動数を測定する方法を歯周疾患の領域に用いることを試み、倉島の測定装置に改良を加え、測定条件を一定にして再現性を良くすると共に、測定方法を容易にし（顎外固定であり測定ヘッドの架台に微動調整装置が附けてある）、これを客観的かつ定量的に歯周組織の力学的性状を診査する方法として、歯周病の臨床に応用することを試みたものである。最近海外においても歯周組織の粘弾性が注目されており、Mühlemann 等²²⁾も従来の Peirodontometer を使った動揺度測定法では、歯周組織の性状を正確に現わし得ないことを認め、電氣的な測定装置を用いて、歯に長時間荷重した場合の歯冠の動きを観察し、そこにおこる flow（流れ）の現象をとらえ、これから歯周組織、特に歯槽骨の質的な性質を診査しようとしている。また Bien²³⁾は歯周組織に対して流体力学的な考察を加え、ラットの歯周組織について Reynolds 数の測定をおこない、歯に力が加わった場合、粘性がかなり働くと報告している。しかし、歯周組織を粘性と弾性の両面から評価し、これを診断や治療効果の判定など実際の臨床にもちいている報告はみられない。

〔臨床応用のための基礎的実験について〕

従来の動揺度の測定装置についても、その再現性に関する報告があるが^{6) 7) 24) 25)}、その表現方法はまちまちで、再現性を明確に示す方法はまだ確定していないようである。

再現性に影響する因子は極めて多いが、大別すれば装置に起因する誤差と被験者に起因する誤差となる。本実験ではまず主として前者の影響をみるため、ラバーベースで作った人工の歯周組織について測定をおこなった結果、再現性が高いことが明らかになった。そこで次に生体について測定をおこなった。本装置を治療効果の判定に用いる場合すなわち処置を加える前と処置後を比較する場合にはその間にかなりの間隔があり、短時間

内に測定をくり返しおこなつて、その再現性を検討しただけで十分であるとは考えられない。本実験では 1 日間隔で 3 回測定をおこないその差について統計処理をおこなつて 95 % の信頼率で信頼限界を求め、その値をもつて誤差の限界とみなすことにした。

しかし歯周組織の血液や組織液の循環および細胞や線維の活性などは、生理的にたえず変動がおこっていると考えられる。したがって歯周組織の粘弾性には生理的な変動がおこり、その指標である共振振動数にも変動がおこると思われる。すなわち生体において歯周組織の共振振動数を測定した場合、この生理的な変動の影響があるものと考えられる。

Mühleman や O'leary 等も歯の動揺度に関する研究において、その生理的な変動に注目しており、動揺度は 1 日の間でも、また数日の間隔や 1 年の間隔でも変動すると報告している^{26) 27) 28)}。しかしその範囲を適格に表現しているものはないようである。

本実験では 1 日の間での変動をさけるため毎日同じ時刻に 9 日間測定をおこない、その変化について信頼率 95 % で信頼限界を求め、この信頼区間巾をもつて生理的変動範囲とした。そして臨床において数日の間隔において共振振動数を測定した場合は、測定誤差の範囲と生理的変動の範囲を考慮して、25 c/s 以上変化がみられた場合は一応歯周組織の粘弾性すなわち力学的性質に変化がおこつたものと推測することができよう。

正常な歯周組織の共振振動数を決めるにあたっては、被験歯の選択が重要な問題であると考えられる。本実験では、肉眼的観察のみでその歯周組織が正常であると決めるような単純な判定はおこなわず、歯槽骨や歯根膜の状態および歯周ポケットの深さや外傷性咬合の有無などをくわしく検査し、すべての面においてほぼ正常と思われるもののみに厳選した。測定にあたっては生理的な変動の影響をできるだけ少くするため、2 日目ごとに 5 回、または 2 週間目ごとに 3 回測定しその平均値を求めた。この平均値に対し区間推定をおこな

つたが、これは正常な歯周組織にはある程度の範囲があり、単に点推定をおこなうだけでは十分でないと考えたためである。その結果、正常な歯周組織をもつ上顎中切歯の95%は419 c/s から468 c/s の範囲内にあり、側切歯は443 c/s から468 c/s の範囲にあると推定することができた。したがって上顎中切歯の共振振動数が419 c/s 以下である場合は、その歯の歯周組織は正常ではなく、病的な状態にあると推測することができよう。

倉島は20歳~23歳の女子の健全な上顎中切歯の共振振動数は右側が422 c/s 左側が434 c/s であると報告しており、本実験の平均値よりやや低い値を示している。

なお本実験において上顎中切歯は側切歯よりも低い共振振動数を示していたが、これはO'Learyのダイヤルゲージを使った動揺度の研究において、正常な歯周組織をもつ場合、中切歯は側切歯よりも動揺度が大きいという報告と一致しており²⁹⁾、また男女の間に差がほとんどみられなかったことは、石橋のダイヤルゲージによる動揺度の研究結果³³⁾と一致している。

さらに本実験では、肉眼的に歯肉の炎症がない中切歯について、共振振動数とMühlemannのPeriodontometerによる動揺度との関係を調べたが、その間には相関関係がみられた。Mühlemannの測定方法は、歯へ500 g 荷重した場合の歯冠の変位(移動距離)を、ダイヤルゲージで測定して動揺度としている。しかしこの方法は歯周組織の粘性要素を無視し、歯冠の変位が荷重の速度および荷重をかけている時間によって変化すること、さらに復帰の様相も歯周組織の状態によっていろいろと差があり残留変位が残ることなどを無視しており、弾性要素のみを静的に測定しているものと言いかえることができよう。したがってこの方法は歯周組織の力学的性質の一部を現わしているのにすぎず、その指標として用いるには難点があると考えられる。一方共振振動数の測定は歯周組織を粘弾性体として観察し、その粘弾性を動的に測定しているものである。それ故両者とも歯周組

織の弾性要素に関係しており、相関関係がみられて当然であると考えられる。しかし両者が完全な直線関係にあるのではなく、かなりのずれがみられるものがあつたことは、共振振動数測定法が従来の動揺度とは異つて、単に弾性要素ばかりでなく粘性要素も含めているためと推測される。

〔歯周疾患の診断への応用について〕

歯槽骨の吸収の程度はX線写真によつて評価されているが、客観的かつ正確に吸収度を判定するには困難が多く、単に根の長さの1/2とか1/4とか表現している場合が多い。本実験では判定にできるだけ客観性をもたせるため、Schei等²⁰⁾の用いたものと同様の透明な定木を用いて評価した。この判定方法についてはEngelberger等が測定誤差を調べ、かなり客観性があることを明らかにしている³⁰⁾。

歯槽骨の吸収度と歯の動揺度との関係については数多くの研究があり^{31) 32) 33)}、RateitschackはMühlemannの動揺度測定器(Periodontometer)を用いて両者の関係を調べ、動揺度は46~49%まで骨の吸収度に影響されていると報告している³¹⁾。本実験においても骨吸収度と共振振動数との間に強い相関関係があるという結果が得られた。これは骨吸収が進んでいるものには歯周組織の力学的性質すなわち機能が低下しているものが多いことを示していると考えられる。しかしながら骨吸収がほとんどなくても、300 c/s 程度の低い共振振動数を示すものと、逆にかなり高度の骨吸収があつても400 c/s 以上の高い振動数を示すものがみられたことは、骨の吸収度以外のいろいろな因子が共振振動数に影響を与えているものと推測される。

ポケットの深さと歯の動揺度との関係はほとんど検討されておらず、わずかに高野⁹⁾と浦上³⁴⁾の研究があるにすぎない、そして両者の間には関係があまりないと考えられている。本実験においては、ポケットが深くなると共振振動数が低くなる傾向がみられた、しかしポケットの深さが同じ3 mm でも216 c/s の低い共振振動数のものと、

460 c/s の高いものとがあり広範囲に分布していた。さきに観察した様に共振振動数は歯槽骨の吸収度に強く影響されているが、骨の吸収度とポケットの深さとの関係をみると両者は必ずしも一致していない³⁵⁾。そこで歯周ポケットの深さと共振振動数との関係をより明確にするため、骨の吸収度によって被験歯を3群に分け骨吸収が同程度のもの同志について、すなわち骨吸収の影響をできるだけ除いてポケットの深さによる影響を観察した。その結果共振振動数は骨吸収の少ない場合にはポケットの深さの影響が少く、骨吸収が進むにつれてその影響を強くうける傾向がみられた。

この事は、骨吸収の無い場合のポケットは仮性ポケットである場合が多く、歯根膜や歯槽骨の力学的性質には強い影響を与えないが、骨吸収が進んでいる場合のポケットは真性ポケットさらには骨縁下ポケットであつて、歯周組織の強い破壊をとらなっており、その力学的性質も低下していることを示すものと考えられる。

外傷性咬合は歯周疾患の原因的因子として非常に重要でありながら、これを客観的に診断してその程度を定量的に表現する方法は解明されていない。Mühlemann 等は外傷性咬合と動揺度との関係について研究をおこなっているが、外傷性咬合の診断方法については明確な記載をしていない。

本実験においては触診すなわち1指対2歯の状態で被験歯に指をあてがって診断する方法をもちいた。しかしながらこの方法は主観がどうしても入ってしまう欠点があり、より客観的に診断できる方法が開発される必要があると思われる。

外傷性咬合がおこる場合は、歯に作用する力の強さとともに、歯を支えている歯周組織の力学的性質が大きな要素となると考えられる³⁹⁾。本実験では骨吸収の程度が同じ場合、外傷性咬合の有るものは無いものに比較して明らかに低い共振振動数を示した。

このことはすなわち外傷性咬合の有無は歯周組織の共振振動数に強い影響を与えており、外傷性咬合がある場合は歯周組織の力学的性質が低下することを示している。したがってこれを逆から考

えれば、歯肉に炎症やポケットがなく肉眼的に正常に見えるもので共振振動数が低下している場合は、外傷性咬合の存在を疑う必要があると思われる。

臨床実験において、歯肉の炎症の程度を肉眼的に判定する方法としては、疫学的研究のために作られた判定法に改良を加えたものが多く用いられている^{31) 40) 41)}。本実験では判定にできるだけ客観性を持たせるため、歯肉を5つの部位に区分しそれぞれについて炎症の有無を観察し、その合計点を炎症度とした。この際従来の方法が唇側のみを判定部位としていたのに対し、舌側面も判定部位の1つとして観察した。

Rateitschak は Mühlemann の Periodontometer を用いて動揺度を測定し、これと歯肉の炎症の程度との間には関係がないと報告している。

本実験でも共振振動数と歯肉の炎症程度との間には明確な関係が見られなかった。しかし骨吸収が同じ程度のもの同志を比較すると、炎症の無い症例は骨の吸収度によって多少の差はあるがほぼ正常値に近い共振振動数を示しており、一方炎症度が高い症例では正常値に近い振動数を示すものと、ずっと低い振動数を示すものとがみられ、広い範囲にわたって分布する傾向を示していた。これは表面的には同じ歯肉の炎症度を示す歯周組織でも、あるものは炎症が表層だけにとどまっているため共振振動数にあまり影響を与えず、またあるものは炎症が歯根膜や歯槽骨等の深部にまで波及し、歯周組織の力学的性質が低下しているために、共振振動数が低くなっているものと考えられる。

ブラッシングによる治療効果に対しては、Glickmann⁴²⁾や大河原⁴³⁾をはじめ数多くの研究がなされており、肉眼的な P. M. A. 指数を用いた観察や毛細管顕微鏡による歯肉毛細管の観察および病理組織学的な観察によつて、歯肉の炎症が減少することが知られている。また原ら⁴⁴⁾は歯周ポケットからの滲出液量および出血量を測定し、これが減少することを報告している。

しかし機能的な面からの観察すなわち歯の動揺

度の変化については、まだ報告されていない。本実験においては、機能的な面からの検査法として臨床応用をはかってきた歯周組織の共振振動数測定法を、この治療効果の判定に使用した。その結果ブラッシングを毎食後おこなわせることによって共振振動数は正常値に近づく傾向がうかがわれた。これはブラッシングによって歯周組織の末梢循環が改善されたためと考えられる。しかし中切歯において統計学的に有意の差が見られなかったことは、ブラッシングのみによつては取除くことができない病的因子が共振振動数に強く影響を与えていることによると考えられる。これはすなわちブラッシングのみでは共振振動数に影響を与えるほど治療効果があがらない症例があるためと考えられる。また2週間目と4週間目の間に差がなかったことは、ブラッシングの効果は2週間目までが特に著しく、その後は著明な変化がおこらないことを示しているものと思われる。

スケーリングとブラッシングを併用した場合は、単にブラッシングをおこなった場合に比較して、共振振動数の正常値へ近づく傾向が極めて強くみられた。スケーリングによる歯周組織の変化については Waerhaug⁴⁵⁾が犬を使って歯肉の炎症が激減すること、特に深部はほとんど正常に近くなること、上皮附着が正常化することなどを観察しており、Moskow⁴⁶⁾は人間について、上皮は1週間で再生されるが、ポケット内部の修復はもつと遅れることを報告している。また Ramfjord 等は同位元素を使って実験をおこない、処置後2, 3, 5週間のものに正常な内縁上皮がみられたが、歯肉の表面にはすでに歯垢の沈着がおこっていたと報告している。

一方動揺度の測定によつても治療効果の判定が試みられており、Mühlemann 等は scaling と curattage 後33日目と60日目に動揺が10%減少したと報告している。

最近 Ferris⁴⁹⁾は Mühlemann の Priodontometer を用いて、スケーリングと根面研磨の後1週間から8週間にわたつて観察をおこない、動揺度が減少すること観察しているが、1週間と2週間後で

は有意の差はなく、4週間後に始めて5%の危険率で有意の差がみられたと報告している。

本実験の観察時期は処置直前と処置後4週間目であり、その間に有意の差がみられた、すなわち4週間目には歯垢歯石等の局所刺激物の除去とブラッシングによつて炎症が著しく軽減し循環障害が改善され、他方スケーリングによる組織の損傷も修復されて歯周組織の性状は処置前に比較して著しく正常に近づいているものと思われる。そしてこれらの変化が共振振動数の正常値へむかつての変化となつてあらわれたものと考えられる。

外傷性咬合が辺縁性歯周炎の原因であるかどうかの研究は極めて多いが^{39) 50) 51) 52)}、歯周疾患患者の口腔内に起こっている外傷性咬合を客観的に診断し、これに対して咬合調整をおこなった場合の歯周組織の変化を観察し、定量的に治療効果の判定をおこなった実験は極めて少ない。

Mühlemann⁵³⁾は歯間分離器や矯正装置を装着すると歯の動揺が増加することを観察し、これは歯根膜に圧迫がおこり貧血状態による組織酸化作用の障害によるものであり、Bruxism によつても同様の現象があらわれると考えている²⁷⁾。また片側咬合の場合には機能の低下している側の方が動揺度が大きく、咬合調整によつて減少したと報告している⁵⁴⁾。

しかし片側咬合の様な特殊な咬合状態でなく、いわゆる辺縁性歯周炎の患者でしばしば見られる中心咬合時および下顎運動時に外傷性咬合をおこしている歯に対して咬合調整をおこない、その治療効果について定量的な観察をおこなっているものはみられない。

本実験では中心咬合時および下顎運動時に、かなり強い外傷性咬合をうけている上顎前歯に対し咬合調整をおこなった結果、共振振動数が著しく正常に近づくことが観察された。これは咬合調整によつて歯周組織に有害な外力が加わらなくなり、歯周組織の循環障害は取除かれ、歯周組織(歯根膜線維や歯槽骨)に修復がおこり、正常な状態に近づいたためと考えられる。すなわち歯周組織の共振振動数の変化は歯周組織、特に歯根膜や歯

槽骨の生物学的性状の変化と一致しており、歯周疾患の病状の変化を定量的かつ客観的に表現していると考えられる。

以上のことから歯周組織の共振振動数の測定は、歯周疾患の症状を定量的に表現する方法として実験や臨床において有用であり、歯周疾患の診断や治療効果の判定に用いることができると考えられた。さらにはまた矯正治療および補綴治療のさいの診断にも応用することができると考えられる。

しかし、この測定装置は前歯部に対しては再現性がよく測定法も要易であるが、臼歯部では測定がむずかしいので、今後さらに装置および測定法に改良を加えてゆきたいと思う

VI. 総 括

歯周組織の共振振動数測定法を歯周疾患の診断に応用することを目的として、倉島が用いた共振振動数測定装置を臨床に使用できるように改良し、この装置の再現性および共振振動数の生理的変動を検討するとともに、正常および病的な歯周組織の共振振動数の測定をおこない、さらにこの方法を用いて、歯周疾患の治療効果の判定を試みた。

1. 歯周組織はたんなる弾性体でなく、粘性をあわせもつ粘弾性体である。したがって歯周組織を機能的な面すなわち力学的性質の面から検索するにあたっては、粘弾性を考慮に入れておこなう必要がある。本実験はこれらの点を考慮し、歯周組織の粘弾性を測定する方法として、動的測定法すなわち歯周組織の共振振動数を測定する方法を応用し、倉島が用いた共振振動数測定装置に改良を加え、再現性を高めて臨床に応用できるようにした。

2. 本実験で使用した歯周組織の共振振動数測定装置は、自動掃引発振器、励振器、増巾器、X-Y レコーダー、インピーダンスブリッジ、測定ヘッドの微動調整装置等からなっており、100 c/s から 600 c/s までの振動数を連続的に変えて歯と歯周組織に振動を加え、その共振曲線を X-Y レコ

ーダーの上に記録することができる。

3. 本装置の再現性については、模型および生体で検討した。模型を使つた場合は非常に高い再現性を示したが、生体においてはやや再現性が低下していた。しかし生体について一日間隔で3回反覆測定した場合の差は平均 7.1 c/s で、その存在範囲は 16.4 c/s から -2.2 c/s の間と推定された。誤差を信頼限界/測定値×100 %として求めると 4.0 %であり、臨床に十分使用することができると考えられると思われた。

軽度の歯肉炎のある8歯について9日間毎日同一時刻に測定した結果、歯周組織の共振振動数には生理的な変動が見られ、その範囲は9 c/s 程度であつた。

4. 正常な歯周組織をもつ上顎中切歯の共振振動数は 419 c/s ~ 468 c/s であつた。すなわち正常な歯周組織をもつ男 12 人、女 10 人、計 22 人の 68 歯について共振振動数を測定し、信頼率 95 % で信頼限界を求めると、男では 414 c/s から 458 c/s、女では 419 c/s から 462 c/s であつた。また上顎の側切歯は 434 c/s ~ 494 c/s であり、中切歯よりやや高い共振振動数を示した。なお男女間の差はほとんど認められなかつた。

5. 病的な歯周組織の共振振動数は正常なものに比較して低下していた。すなわち歯周疾患を有する 92 名の上顎中切歯と側切歯計 348 歯について測定したところ、106 c/s ~ 496 c/s の間に分布していた。

これらについて歯槽骨の吸収度、歯周ポケットの深さ、外傷性咬合、歯肉の炎症度との関係を調べた結果、

(1) 歯槽骨の吸収度と共振振動数との間には強い相関関係が認められた。(r = -0.65 ~ -0.87) すなわち歯槽骨の吸収は共振振動数に強い影響を与えていると思われた。

(2) 歯周ポケットの深いものは共振振動数が低くなる傾向を示しており、骨吸収の多い場合にはこの傾向が著明であつた。

(3) 骨吸収が同じ程度のものを比較すると、外傷性咬合を有するものは無いものに比較して、

明らかに低い共振振動数を示していた。

(4) 歯肉の炎症度との間には、骨吸収の少ない場合特別な関係は見られなかったが、骨吸収が中程度および高度の場合には、炎症がないものと非常に強いものとの間に有意の差が認められた。

6. 共振振動数測定法を歯周疾患の治療効果の判定に、応用することを試みた。軽度および中程度の歯周疾患患者 48 名を、ブラッシング指導群、スケーリングとブラッシングの併用群、咬合調整群、無処置（対照）群の 4 群に分け、各群に対しておのおの処置をおこない、その処置前と処置後 2 週間または 4 週間に共振振動数を測定し比較した。その結果、対照群では共振振動数に、ほとんど変化が見られなかったのに対し、治療群では正常値に近づく傾向が見られた。咬合調整群およびスケーリングとブラッシングの併用群ではその傾向が著しかった。

VII. 結 論

1. 倉島が用いた歯周組織の共振振動数測定装置に改良を加え、再現性を高めて臨床に用いることができるようにし、これを用いて健康および歯周疾患に罹患している上顎中、側切歯 818 歯について、共振振動数の測定をおこなった。

2. 正常値は上顎中切歯が 414~462 c/s であり、側切歯は 434~494 c/s であった。

3. 歯周疾患罹患歯は病状の進行につれて、共振振動数が低下しており、この共振振動数の低下は歯槽骨の吸収度、外傷性咬合と強い関連性を示していた。

4. 歯周ポケットの深いものは共振振動数が低くなる傾向を示し、骨吸収の多い場合にはその傾向が強くあらわれた。また歯肉の炎症度との間には明らかな関係がみられなかったが、骨吸収が多くしかも歯肉の炎症が強いものはとくに低い共振振動数を示した。

5. ブラッシング、スケーリング・咬合調整などの治療処置により共振振動数は正常値に近づく傾向を示した。とくに咬合調整をおこなった場合およびスケーリングとブラッシングを併用した場合に

は、その傾向が著明であつた。

6. 共振振動数測定法は、歯周組織の病態を臨床において客観的かつ定量的に評価することができ、歯周疾患の診断および治療効果の判定には、きわめてすぐれた測定法と考えられる。

稿を終るにあたり、御懇篤なる御指導、御校閲を賜った今川与曹教授に心から感謝いたします。また測定装置について御援助をいただいた矯正学教室三浦不二夫教授、倉島晃一講師、ならびに生理学教室市岡正道教授に深く感謝いたします、さらに本研究に対し終始御鞭撻、御助言をいただいた保存学教室石川純助教授、および保存学教室の諸兄各位に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Heinroth, H.: Klinische Untersuchungsmethoden. Die Fortschritte der Zahnheilkunde, 4: 110, 1928.
- 2) Elbrecht, E.: Beitrag zur Bestimmung der Lockerungsgrade der Zähne. Paradentium, 7: 138, 1939.
- 3) Beyeler, K., Dreyfus, J.: Prinzip einer elektrodynamischen Apparatur zur Messung des Lockerungsgrades der Zähne. Parodontologie, 1: 113, 1947.
- 4) Manly, S., Yurkstas, A., Reswick, J.B.: An instrument for measuring tooth mobility. J. Periodont., 22: 148, 1951.
- 5) Joel, A.A.: A new method for measuring tooth mobility. Dent. Practit., 8: 329, 1958.
- 6) Mühlemann, S., Periodometry, A method for measuring tooth mobility. O. S. O. M. O. P., 4: 1220, 1951.
- 7) 高野英夫: 歯の動揺の研究 (I). 歯科学雑誌, 7: 147, 1950.
- 8) 石橋真澄: 歯牙の動揺に関する実験的研究 (I). 口病誌, 20: 187, 1953.
- 9) 浦上景彦: 歯牙動揺度の研究. 九歯学誌, 11: 140, 1957.
- 10) Parfitt, G. J.: Measurement of the physiological mobility of individual teeth in an axial direction. J. Dent. Res., 39: 608, 1960.
- 11) Picton, D.C.A.: A study of normal tooth mobility and the changes with periodontal disease. Dent. Practit., 12: 167, 1962.
- 12) O' Leary, T.J., Rudd, R.D.: An Instrument for measuring horizontal tooth mobility. Periodontics, 1: 249, 1963.
- 13) Hofmann, M.: Ein Gerät zur quantitativen und qualitativen Bestimmung der Bewegung-

- sbahn des Zahnes. D. Z. Z., 17 : 721, 1962.
- 14) Mühlemann, H.R., Rateitschak, K.H. : Mechanische und elektronische Zahnbeweglichkeitsmessungen. D. Z. Z., 18 : 1352, 1963.
 - 15) Savdir, S. : Der Periodontograph. Schweiz. Mschr. Zahnheilk., 73 : 993, 1963.
 - 16) 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, 1963.
 - 17) 後藤廉平, 平井西夫, 花井哲也 : レオロジーとその応用. 東京, 1962, 共立出版, 130 頁.
 - 18) 高分子学会, レオロジー委員会 : レオロジー測定法, 東京, 1965, 共立出版, 196 頁.
 - 19) 高橋利衛 : 振動工学演習 (I). 東京, 1962, オーム社, 141 頁.
 - 20) Schei, O., Waerhaug, J., Lovdal, A., Arno, A. : Alveolar bone loss as related to oral hygiene and age. J. Periodont., 30 : 7, 1959.
 - 21) 石川純 : ブラッシングと補助的清掃法. 歯界展望, 26 : 618, 1965.
 - 22) Mühlemann, H.R., Savdir, S., Rateitschak, K. H. : Tooth mobility, Its causes and significance. J. Periodont., 36 : 148, 1965.
 - 23) Bien, S.M. : Hydrodynamic damping of tooth movement. J. Dent. Res., 45 : 907, 1966.
 - 24) Mühlemann, H. R., Fehr, C. : Zur Beurteilung des Parodonts vermittels Zahnbeweglichkeitsmessungen. D. Z. Z., 11 : 634, 1956.
 - 25) 木村一雄, 石橋真澄 : ダイヤルゲージを応用した歯牙動揺度測定器に就いて. 口病誌, 19 : 115, 1952.
 - 26) Himmel, G. : Das Verhalten der Zahnbeweglichkeit im Verlauf der 24-Stunden-Periode. Zührrich, 1957, Brunner, Bodmer & Co. p. 5.
 - 27) Mühlemann, H.R. : 10 years of tooth mobility measurements. J. Periodont., 31 : 110, 1960.
 - 28) O'leary, T. J., Rudd, K. D., Nabers, C. L. : Factors affecting horizontal tooth mobility. Periodontics, 4 : 308, 1966.
 - 29) Rudd K. D., O'Leary J. T., Stumph, A. J. : Horizontal tooth mobility in carefully screened subjects. Technical document report, No. SAM-TDR 64, 12., 1964.
 - 30) Engelberger, A., Rateitschak K. H., Marthaler, T.M. : Zur Messung des parodontalen Knochenschwundes. Helv. Odont. Acta., 7 : 34, 1963.
 - 31) Rateitschak, K. H., Marthaler, T. M., Engelberger, A. : Beziehung zwischen Entzündungsgrad der Gingiva, Knochenschwund und Zahnbeweglichkeit bei parodontalen Erkrankungen. Helv. Odont. Acta., 8 : 26, 1964.
 - 32) 高野英夫 : 歯の動揺の研究 (その 2). 歯科学雑誌, 7, 201, 1950.
 - 33) 石橋真澄 : 歯牙の動揺に関する実験的研究 (第 2 報) (第 5 報). 口病誌, 21 : 22, 1954., 口病誌, 25 : 36, 1958.
 - 34) 高野英夫 : 歯の動揺の研究 (その 3). 歯科学雑誌, 7 : 249, 1950.
 - 35) 石川純, 松江一郎, 鈴木康司, 浜田征雄, 山崎敬介, 前田勝 : 成人集団における歯周疾患の調査, —とくに歯周組織病変の年齢的推移について—, 口病誌, 34 : 412, 1967.
 - 36) Mühlemann, H. R., Herzog, H., Rateitschak, K. H. : Quantitative evaluation of the therapeutic effect of selective grinding. J. Periodont., 28 : 11, 1957.
 - 37) Mühlemann, H. R., Herzog, H. : Tooth mobility and microscopic tissue change produced by experimental Occlusal trauma. Helv. Odont. Acta., 5 : 33, 1961.
 - 38) 石川純 : 咬合調整について, 歯界展望, 26 : 679, 1965.
 - 39) 石川梧朗 : 外傷性咬合, 歯界展望, 26 : 533, 1965.
 - 40) 中村治郎, 橋口精範, 加藤熙 : 妊婦歯肉の継続的観察, 口科学誌, 13 : 1, 1964.
 - 41) 中村治郎, 原耕二, 加藤熙, 長谷川絃司, 松丸健三郎 : 歯周疾患の治療効果に関する生物学的研究, 日保歯誌, 9 : 328, 1967.
 - 42) Glickman, I. *et al.* The effect of powdered tooth brushing and interdental stimulation upon microscopic inflammation and surface keratinization of the interdental gingiva. J. Periodont., 36 : 108, 1965.
 - 43) 大河原紳治 : ブラッシングの歯肉に与える影響について, 日保歯誌, 8 : 305, 1966.
 - 44) 原耕二, 道トキ子, 長谷川絃司, 松丸健三郎 : 歯周疾患患者の歯肉囊内滲出液に関する生化学的研究, 口病誌, 32 : 169, 1965.
 - 45) Waerhaug, J. : Microscopic demonstration of tissue reaction incident to removal of subgingival calculus. J. Periodont. 26 : 26, 1955.
 - 46) Moskow, B. S. : The response of the gingival sulcus to instrumentation a histological investigation, (I) The scaling procedure. J. Periodont., 33 : 282, 1962.
 - 47) Stone, S., Ramfjord, S. P., Waldren, J. : Scaling and gingival curattage a radioautographic study. J. Periont., 37 : 415, 1966.
 - 48) Fehr, C., Mühlemann, H. R. : Objektive Erfassung der Wirkung einer internen Parodontaltherapie. Parodontologie, 4 : 152, 1956.
 - 49) Feris, R. T. : Quantitative evaluation of tooth mobility following initial periodontal therapy. J. Periodont., 37 : 190, 1966.

- 50) Glickmann, I., Smulow, J. B. : Alterations in the pathway of gingival inflammation into the underlying tissues induced by excessive occlusal forces. *J. Periodont.*, 33 : 7, 1962.
- 51) Glickman, I., Smulow, J. B. : Further observations on the effects of trauma from occlusion in humans. *J. Periodont.*, 38 : 280, 1967.
- 52) Lovdal, A., Schei, O., Waerhaug, J., Arno, A. : Tooth mobility and alveolar bone resorption as a function of occlusal stress and oral hygiene. *Acta odont. Scandinavica*, 17 : 61, 1959.
- 53) Mühlemann, H.R. : Tooth mobility (V), Tooth mobility changes through artificial trauma. *J. Periodont.*, 25 : 202, 1954.
- 54) Mühlemann, H. R., Herzog, H., Rateitschak, K. H. : Quantitative evaluation of the therapeutic effect of selective grinding., *J. Periodont.*, 28 : 11, 1957.