

〔特別講演〕

歯周組織の微小循環

—基礎から臨床へのメッセージ—

神奈川歯科大学口腔解剖学教室

高橋和人教授

とき：1993年9月29日

歯根膜の顔

歯周組織はわれわれにとって身近な存在であり、重要な組織であるにもかかわらず、その血液循環に関しては、最も研究が遅れている分野である。その理由は歯周組織の一部を除いて、口腔内から血管網を直接視ることができないためである。一時、歯肉粘膜直下の血管網を生体顕微鏡を使って観察し、その形態が病変によって変化することを捉え、歯周炎の診断に使う試みが成されたが、歯肉上皮は角化して透明度が悪く、口腔内からはほんのわずかな部分しか観察できなかったの、臨床的な診断に使用するまでには至らなかった。

歯根膜については、歯根膜が歯根と歯槽骨の間に挟まれた厚さ0.1~0.3mmの薄い組織であり、生理的狀態で、外部から観察することが全くできない。また歯根膜の血流量、流速、血圧などの生理的測定が、現在の段階では不可能に近い。

形態学的には、血管内の造影剤、墨汁その他の色素を注入して観察する方法が取られてきたが、どれも組織切片での観察が主で、どれも平面的で、歯根膜の血管網の立体的な全体像を示すまでには至っていない。

しかし微小震動計によって、歯の振動を測定してみると、心拍と同調して細かくリズムカルに振動していることが分かった。確かに歯根膜

を流れる血液が、歯に振動を起こさせているのだが、これまでの局所的、平面的な観察方法では、両者を結び付ける手掛かりがなかった。そのためわれわれが持っている歯根膜の微小循環の知識は、盲人が象を触って得た情報に似て、局所的、断片的、概念的である。このことは日常臨床で起こるいろいろな現症を十分に説明できる知識ではなかった。いつの間にか血液循環のことを飛び越えた議論がされるようになってしまった。けれど歯周疾患、矯正治療、咬合性外傷など、微小循環の知識を加えることによって、非常にうまく解決することができる問題が、数多くあることにわれわれは気付いた。それでは歯周組織の生理学的な循環動態を計測することは諦めるとして、歯根膜全体の血管網を立体的に視ることができる方法が無いのだろうか？われわれは、手段の一つとして従来からある血管鑄型法を、微小循環の研究に都合のいいように改良することを試みた。

さらに歯周組織のうち、歯根膜の血管網を観察するには、歯槽骨との関係を見なければ意味がない。そこで、骨組織を残すために、資料をアルカリで溶解せずに、強力な蛋白分解酵素で、歯根膜線維のみを溶解した。一週間で歯根膜線維が溶解されて、歯槽骨から歯が脱落して、そこに、歯根膜血管網の鑄型と歯槽骨の表面が現われてくる。この操作によって、最も重要な歯根膜血管網と歯槽骨との関係を十分に観察する

ことができた。そしてSEMをつかって、正常歯根膜の血管網の全体像のデータを蓄積し、それらがいろいろな外来刺激によって、どのように変化するのかを、比較観察することができるようになった。

歯周組織の血管網の正常像

歯肉の構造

口腔に面している口腔上皮と、歯に面している側に付着上皮とその上部にある歯肉溝上皮（両者を総称して内縁上皮という）があり、口腔上皮（外縁上皮）は角化し層が厚く、固有層の乳頭を含んでいる。後者の内縁上皮は、非角化性で薄く、歯小皮を介して歯面と結合している。特に内縁上皮直下には、毛細血管からなる非常に密な一層の血管網が観察できる。この血管網を構成する毛細血管は、多孔性で（有窓性血管）と言ひ、この小孔を通じて、浸出液が浸出して付着上皮の間をぬって、歯肉溝へと流出している。またこの特殊な血管網からは、白血球が遊走し上皮細胞間をパトロールしている。これら2つの機構は外来侵襲に対する重要な防御機構である。

歯根膜の構造

歯根膜の主線維は強靱な線維が、円柱状に束ねられて、歯根と歯槽骨との間を結んでいる。従って主線維の間には縦横にトンネルができ、血管と神経の通り道になる（脈管神経隙）。歯根膜の血管網はこのトンネルの中に作られるので、歯根膜線維と密接な関係にあり、線維の形態変化に血管網は鋭敏に反応し、その形態を変化させる。言い換えると血管網の変化を見ることによって、そこに何が起きているかを推察することができるのである。

歯根膜の血管網は2階建

いろいろな系路のうち、歯槽骨のフォルクマン管を通して歯根膜に入るものが、最も一般的で主要な交通道である。このことについてもう

少し詳しく述べてみよう。歯槽動脈から分かれた枝は、歯槽中隔あるいは根管中隔の中を通過して、歯槽骨（歯根に面している骨壁だけを言う）の裏側に達し、分岐を繰り返してフォルクマン管を通過して歯根膜に入る。歯根膜に入った動脈はそのまま歯根膜を横断して、歯根に沿って、歯根軸に一致した紡錘形の動脈性毛細血管網を形成する。そして吻合枝を通じて静脈性毛細血管に移行する。両者は伴走し、多くの吻合枝によって結ばれている。この特長が非常に重要なことで、これからの記述の基本となるので、頭の隅に残しておいてもらいたい。この毛細血管網はもちろん歯根膜線維の間に形成されることは前に述べたとおりである。この毛細血管網を**歯根側血管網**と呼び2階の部分に相当する。静脈性毛細血管は多くの枝を集め口径を増し、再び歯根膜を横断して歯槽骨表面に達し、そこに目の粗い細静脈網を形成する。この細静脈網は歯槽骨と密接な関係にあり、ときに歯槽骨の表面に溝をつくりその中に鎮座していることがある。またこの細静脈網は、絶えず骨の添加、吸収が繰り返されている歯槽骨の代謝に大きな役割を果たしている。また細静脈網は歯槽骨表面近くに張り巡らされているので、歯根膜線維の動きにあまり影響されない。この静脈網を**歯槽骨側血管網**と呼び、2階建の1階部分に当たる。そしてこの細静脈網から枝が出て、それぞれの太さに合ったフォルクマン管を通過して骨髄に向かう。

大小の静脈は歯槽骨の裏側、すなわち歯槽中隔の骨髄の中に、太い静脈網を形成する。この大きな静脈網は、歯根膜の血管網の血液の受皿となっており、フォルクマン管を通じて、血液は行ったり来たりしていると考えられる。これが歯根膜血管網の土台であり、歯根膜の血液のリザーバーとして働くのである。

こんな大きな地下室がなぜ必要か

歯をがっちり歯槽に植立させているのは歯

根膜主線維であることは言うまでもない。しかし主線維の材料であるコラーゲン線維は、非伸展性で歯を固定はするけれど、咬合圧に対しては、よいクッションとは言えない。そこで考えられているのは、歯根膜全体の組織液や血管中の血液が、クッションの役目をしているのではないかということである。事実、前述のように歯は、心拍に同調した微振動を持っているということは、歯根膜の血流が歯に微動を与えていることになり、このことは逆に歯が血流に大きな影響を与えていることにもなる。すなわち外力（咬合圧、咀嚼圧）が歯に加わったとする。そのとき圧迫側にある歯根膜の組織液や血液は、押されて非圧迫側の歯根膜、またはフォルクマン管を通して逃げる。そのときに生ずる流体の抵抗が制動力を生み、いわゆるダンパーの作用を行なうのである。この時に非開放性の血管の中にある血液には、どこか大きな貯留槽が必要であり、この槽は外力が掛からない場所にあることが必要である。

そこで、前述の歯槽中隔の骨髄中にできる静脈網は、歯根膜の血液の貯留槽として、重要な役割を演ずると考えられる。要するに歯根膜クッションは、組織液や血液が入った水枕のようなものではなく、液体の入った注射器のような機構で、ピストンを押したときの抵抗がクッションの役目をしているのであり、注射器に針をつけると抵抗は大きくなり、硬いクッションとなる。フォルクマン管は注射針と同じで、口径が大きくなると抵抗は少なく、小さいときは、流体の抵抗は増大する。このように歯根のあらゆる動きの加速度に対して、応答できるようになっていると考えられる。このように考えを進めて行くと、歯根膜の血管網は2階建+地下室で実質3階建である。

歯根膜の血液はオーバーフローして歯肉へ流れる

歯根膜の血液は、咬合圧によって歯根膜と骨

髄との間を、往復していることは前述の通りである。そして歯根膜の血液の一部は、咬合圧によってオーバーフローして、やがて、歯肉頬移行部を通過して顔面静脈へ流入する。口蓋に流出した血液も口蓋を後方に向かい、咽頭のところで、同様に顔面静脈に流入する。特に上顎を例にとると、顎骨内部に二本の歯槽動脈が血液を送っている。しかしこの顎骨内部に分布した血液を運びだす静脈が存在しないのが、その大きな理由である。そして一旦、歯肉へ流出した血液が逆流しないように、可動部と非可動部との移行部（歯肉頬移行部）には多くの静脈弁が見られる。

歯をスムーズに動かすために

—矯正力による血管網の変化—

それでは矯正治療による歯の移動の場合の歯根膜の血管網の変化観察しよう。実験的にある一定の方向の圧力（矯正力）を歯に掛け続けると、圧迫側の血管網は、歯根膜線維束が、圧迫によってつぶされ、せんべいのように横に広がるために、網目の血管は、横に押しやられ縄状に集合する。それ以上の圧力が継続して加わったときは、歯根膜の血管に循環障害が起こり、やがて血栓が生じ、一日後には不可逆的な血管の閉塞が起こる。通常の持続的圧迫の場合は、圧迫側の歯根膜における血管の閉塞は、ごく限られた小部分で局所的に起こる。そしてその閉塞部の周囲の毛細血管（前述のペアーの毛細血管）にループが形成され、血栓ができた血管はその中枢側で切り捨てられる。その結果、閉塞部は無血管域となりその周囲をループが取り囲むようになる。その他の大部分の歯根膜では、歯の移動によって線維が変形し、その結果、毛細血管は引っ張られ、歯の移動方向に先端を向けたループを形成する。移動の速度が早いときはヘアーピンループとなり、遅いときは裾が開いた緩やかな、毛細血管ループを形成する。従

ってこれらの毛細血管ループの形態によって、力が加わった方向と強さを知ることができるのである。

歯根膜の中の砂漠

歯の移動時に生じる血管消失部では、血管消失によって栄養が絶たれるため、破骨細胞を含むすべての細胞が姿を消し、歯槽骨の表面は栄養障害によって壊死し平滑になる。移動の症例で見ると、圧迫側全体に一定の深さで吸収が起こっているにもかかわらず、血管消失部だけ吸収が起こらないために、島状に一段高く取り残されている。要するにここは歯根膜の中の砂漠なのである。この砂漠を取り除かないかぎり歯は移動しない。そこで生体はこの砂漠を何とか取り除くために、その周囲からと裏側から懸命に破骨細胞が吸収を始め、術後14日目ごろにこの砂漠を取り除き、そこにオアシス（血管網）が再生されると、再び歯が移動を始める。歯を水平に歯体移動させるとき、移動開始1日後に、歯根膜の幅だけは容易に移動する。その後血管消失部ができ、砂漠化（硝子様変性）した部分が吸収されるまで歯は移動しない。そしてその部分が吸収されると歯は再び移動を始める。要するに歯の水平移動は、階段状に起こることが示唆された。この不動期の長さは、矯正力の強さ、患者さんの年齢等いろいろなコンディションによって違ってくる。だから不動期に入ってしまったら、じっと我慢して患者さんの生体反応に、任せるより致し方ないのである。歯が移動しないからといって、やたら強い矯正力を掛けても、生体反応を阻害するだけで、逆効果になってしまうことを銘記すべきである。

歯根膜の血管はなぜ消える

—咬合性外傷による血管網の変化—

今まで述べてきた矯正力のように、外力が集中的に歯根膜に加わると、その場所に血栓ができ、血管が閉塞し、その血管は消失することが

わかった。実はもう一つの消失過程が見られる。咬合性外傷を例に説明すると、実験的に咬頭頂に高さ2mmのインレーを装着する。すると実験開始7日目になると、歯根膜に広範囲な血管消失部がみられる。このときの歯の動揺はわずかで、X線像でも歯根膜空隙に変化は見られない。また歯肉の血管網は正常である。従って臨床的には正常である（動物実験のために疼痛に関しては不明）。血管網の消失によって露出した歯槽骨の表面は平滑でほとんどのフォルクマン管の開口部も閉鎖され、歯槽骨表面は壊死に陥っていることを示している。この成因は異常に強い咬合力が間欠的に長時間加わったため、歯の生理的動揺を越えた動揺が歯を揺さぶったことにより、毛細血管に血栓を生じ、血管の閉塞、血管の消失に至ったと考えられる。この過度の動揺によって生じた血管消失部の歯槽骨表面と、圧迫時に現われる血管消失部のそれと、全く同じ像を呈している。ここは細胞がない死の世界である。すなわち、咬合性外傷によって、歯根膜に広大な砂漠ができてしまったのである。

歯根膜の不思議

—歯の挺出、再植—

歯根膜の厚さセンサー

歯を水平移動すると、圧迫側には歯槽骨の吸収が起き、牽引側には骨添加が起こる。圧迫側の骨吸収については、前に述べたので、ここでは牽引側について述べてみたい。牽引側では、歯根膜線維が引っ張られ、それと同時に血管網もループを形成する。また歯根膜の幅が正常なものよりも拡大される。すると歯槽骨に骨添加が生じ、歯根膜は不思議なことに、またもとの厚さに修正される。そこで実験的に歯の挺出を試みた。垂直移動は障害がないので、簡単に移動し開始後1週目で、所定の位置に移動する。さて歯根膜の変化をみてみよう。1週目では主線維は歯根に引っ張られて斜めに配列している

が、2週目になると、線維に組替えが起こって、もとのように水平に配列するようになる。そのとき歯根膜線維の上に、歯根とある間隔（本来の歯根膜の厚さに相当）を持った1本の線が、歯根面に沿って走る。3週目になるとその線から歯槽側に向かう骨の添加が起こり、4週目にはその石灰化は更に進んでいく。つまり歯の移動によって、歯根膜の厚さに変化が生じたことを、歯根膜の厚さセンサーが感じ、**石灰化予定線**が引かれ、それより歯槽骨側に石灰化が起こる。この現象は歯槽骨表面に徐々に骨の添加が起こり、ある線で骨形成が終ると考えていた我々の予想を覆す結果になった。圧迫側に骨吸収についても、歯根に平行に、もとの歯根膜の幅だけ吸収が起こる。ここにも歯根膜の厚さセンサーの出す指令に従って、歯槽骨を吸収し歯根膜の厚さが一定になるような機構が存在すると考えられる。そしてこの厚さの確保が歯根膜の機構を維持する最も大切なことである。

厚さセンサーがなかったら

我々はこのセンサーがどこに存在し、どのように働くのか調べてみた。イヌの下顎P1を抜歯し、30秒後に再植した。その結果2週目後に歯根の一部が吸収を始め、3週後にはそれが大きく拡大していた。ところが4週後には歯槽骨の急激な増殖によって、歯根と歯槽とは癒合してしまった。このように吸収と骨添加の精密なコントロール機構が失われていることに気付いた。鉗子だけで歯根を傷つけないようにして抜歯した若い症例では、2～3週間後に歯根吸収はわずかにみられたが、その後セメント質によって吸収窩は埋められ、歯根膜線維は再生し、歯根膜の厚さは正常通り確保されている。しかし抜歯が難航しエレベーターを使用して抜歯した場合には歯根面に大きな吸収窩と、それに続く骨性癒着が起こることがわかった。ここで結論を出すのはまだ早いのだが、どうもセメント質を傷つけると予後が悪いようである。しかし

セメント質の形成能が、健全のまま残されている部分が多いときは、生着するチャンスはあるということもわかった。これらのことから厚さセンサーはセメント質かその付近にあることを示唆している。

加齢によって歯根膜の厚さが徐々に小さくなる原因は、セメント質の過剰形成によるものとされている。老化によって起こる関節の靱体の化骨と同様であるとして、セメント質のこの形成を片付けてしまうのは早計のような気がする。やはり歯根膜の厚さセンサーが老化によって、狂ってきたのだと考えられる。

おわりに

今回は血管網を中心として歯髓と歯根膜の形態と機能について解説してみたが、これは機能のほんの一部に触れただけであり、教科書には書いていない部分で、我々が実験を積み重ねてきたことを土台にして、解説を加えたものである。歯髓を含む歯周組織は加齢による変化に対する対応は、高齢化社会において避けて通れない問題である。『一生自分の歯で咬む、8020』というテーマのもとに歯科医学の総力が結集されなければならない。今回の講演によって投げられた一石の波紋が、臨床の先生方に広がり、それが返ってくることを期待している。

講師略歴

学歴

昭和34年3月 東京歯科大学卒業
昭和38年3月 東京歯科大学大学院卒業
昭和38年3月 歯学博士

略歴

昭和38年4月 東京歯科大学講師（至 40年10月）
昭和40年11月 東京歯科大学助教授（至 41年3月）
昭和41年4月 神奈川歯科大学助教授（至 46年9月）
昭和46年10月 神奈川歯科大学教授 現在に至る
昭和49年2月 神奈川歯科大学大学院教授（解剖学、

口腔解剖学)

学会ならびに社会における活動

- 昭和40年11月 東京歯科大学学会評議員
- 昭和41年11月 神奈川歯科大学学会理事
- 昭和44年10月 歯科基礎医学会評議員
- 昭和46年10月 日本解剖学会評議員
- 平成元年3月 日本微小循環学会理事
- 平成元年4月 日本歯科医学会評議員
- 平成2年10月 歯科基礎医学会常任理事
- 平成4年4月 日本解剖学会常任理事
- 平成4年4月 医道審議会委員

教室の研究を基に書かれた最近の解説

- ・歯髄をまもる —プライマリーケアの要—
血管系から見た歯髄の生命力
ザ・クインテッセンス 6(1):23-42 昭和62年
- ・臨床座談会 —日常臨床と歯髄—
ザ・クインテッセンス 6(1):59-97 昭和62年
- ・歯肉を知ろう (1) 歯界展望 69(7):1449-1461 昭和62年
- ・歯肉を知ろう (2) —だれも知らなかった歯肉の microcirculation—
歯界展望 70(1):107-120 昭和62年
- ・歯肉を知ろう (3) —歯肉の再生と新生血管—
歯界展望 70(2):359-371 昭和62年
- ・歯根膜を探る (1) —歯根膜の血管網を知ろう—
歯界展望 70(3):597-608 昭和62年
- ・歯根膜を探る (2) —スムーズに歯を動かすために—
歯界展望 70(4):849-864 昭和62年
- ・歯根膜を探る (3) —咬合性外傷そのとき歯根膜の血

管網は—

- 歯界展望 70(5):1043-1054 昭和62年
- ・歯根膜を探る (4) —歯根喪失と歯根膜の血管網—
歯界展望 70(6):1335-1351 昭和62年
- ・歯周組織の血管網を視る —基礎から臨床へのアプローチ—
歯界展望 71(1):77-112 昭和63年
- ・一般臨床におけるエクストルージョンの現在
グノーシス出版 昭和62年8月
- ・歯科学生のための解剖学実習
南江堂 平成2年3月
- ・顎関節小事典
日本歯科評論 平成2年5月
- ・口腔の解剖学
南山堂 平成2年7月
- ・なぜ再植実験を始めたか
デンタルアスペクト 4(3):71-79 平成2年夏号
- ・歯根膜面をより立体的に観察する I
歯根膜線維について
ザ・クインテッセンス 10(1):13-23 平成3年
- ・歯根膜面をより立体的に観察する II
歯根膜と歯の緩衝機構について
ザ・クインテッセンス 10(2):7-15 平成3年
- ・歯科医学総論マニュアル
南山堂 平成3年6月
- ・歯根膜の科学
グノーシス出版 平成4年6月
- ・歯髄の微小循環
歯医学誌 11:106-110 平成4年
- ・露髄面の処理に当たって —血管網との関わり—
日本接着学会 10(1):1-7 平成4年