

顎関節鏡視下レーザー手術の関節円板に及ぼす影響

東京医科大学口腔外科学講座 (指導: 内田安信主任教授)

下 川 千 可 志

Effects of Temporomandibular Joint Arthroscopic Laser Surgery on the Articular Disc

Chikashi SHIMOKAWA

Department of Oral Surgery, Tokyo Medical College.
(Director: Prof. Yasunobu UCHIDA)

The purpose of this study was to investigate the influence of Nd-YAG laser irradiation on the articular disc in temporomandibular joint (TMJ) arthroscopy. The postoperative changes of the TMJ articular disc of 80 rabbits were evaluated arthroscopically and histologically for 15 weeks following Nd-YAG laser irradiation. The arthroscopical findings were classified into 6 categories: slight changes (Grade I), synovitis (Grade II), fibrillation (Grade III), limited necrosis (Grade IV), perforation (Grade V), and massive necrosis (Grade VI). Grades II~IV were considered to be moderate changes while Grades V and VI were severe changes. In Grades I and II, microscopy revealed mild degenerative change on the collagen fiber bundles of the disc, but scanning electron microscopy (SEM) revealed focal necrosis of the collagen fiber and peeling off the surface layer. With increasing grade, the degree of necrosis increased and deformation of the condylar cartilage layer was seen. Immunohistochemically, the collagen type I and type II antigen disappeared in these specimens. Through all of the investigation periods, no evidence of healing of the discs was seen. Grade I was seen in 9.7%, II in 4.8%, III in 21.0%, IV in 37.1%, V in 12.9%, and VI in 14.5%. These results suggested that there are various problems because Nd-YAG laser irradiation induces varying degrees of coagulation on the disc, even in apparently identical operations, due to the color of the disc and the wavelength specificity of the Nd-YAG laser.

緒 言

顎関節鏡視法は、従来より疼痛性クリックや関節内クローズドロックによる開口障害を呈する顎関節内障の診断に用いられ、近年ではその治療法として顎関節鏡視下手術に應用されている。顎関節における鏡視下手術は、スプリント療法やマニピュレーション等による保存的療法と観血的顎関節形成術の中間

に位置づけられ、手術法としては転位円板の線維性癒着部の剝離、切断を行う顎関節鏡視下剝離授動術が主流である。しかし、狭小な関節腔内での手術操作は必ずしも容易でなく、一方では高度な技術や熟練を要してもなお困難な症例も存在する。これらに対し、近年手術成績の向上を図るため Nd-YAG レーザーの應用が考えられている。

Nd-YAG レーザーは極小径の導光用ファイバー

(1995年1月19日受付, 1995年2月2日受理)

Key words: 顎関節 (Temporomandibular joint), 関節円板 (Articular disc), 顎関節鏡視下レーザー手術 (Arthroscopic laser surgery), Nd-YAG レーザー (Nd-YAG laser)

を通過し、また水中でのエネルギー減衰が少なく、関節鏡視下手術に应用可能な特性を備えている他、従来のプローブやラスプ等では困難であった部位への到達を可能とし、手術効率を上げるなど高い有用性が期待される。反面、閉鎖空間での鏡視下手術で、その有効かつ安全な応用には未だ未解決の問題も多い。すなわち、顎関節構成組織においては焼灼、蒸散など熱作用に対する反応や転帰は全く知られておらず、照射方法やエネルギー量など、適応条件にも確たるものがない。そこで著者は、家兎顎関節において鏡視下に Nd-YAG レーザーの効果を検討し、関節円板を中心とした組織変化の詳細につき知見を得たので報告する。

方 法

I. 実験材料および方法

体重 2.5 kg, 日本白色家兎の雄 80 羽を用いた。

Nembutal 30 mg/kg 静脈内麻酔下に側臥位に固定、左側耳前部を剃毛、消毒の後耳前切開から顎関節包を剖出、関節包に水平切開を加え上関節腔を解放し、ここから関節鏡 (Stryker®: TMJ miniscopesystem, 径 2.3 mm, 視野角 15° の硬性鏡) を挿入した。微注ポンプによる生理食塩水灌流下に、同システムの冷光源と CCD カメラにより関節腔内をモニターで観察しながら、Nd-YAG レーザー (LaserSonix®: Model 6000) の導光ファイバーに接続した接触型プローブ (M&M®: LT10-08, 先端 0.8 mm のセラミックロッド) を関節鏡の後方より上関節腔に挿入、先端を関節円板後方肥厚部に置いた (Fig. 1)。予備実験から、灌流量 10 ml/min 下、先端出力 30 w, 1 回 0.5 sec のパルスで総量 150 J の照射を設定した。照射後、関節包、皮下組織、皮膚の各層を 5-0 ナイロン糸で縫合し処置を終了した。また、すべての同一固体で右顎関節を同様に開放、関節鏡挿入のみの Sham operation を行い対照とした。

I. 観察方法

観察期間として処置後 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 週の 8 群を設定、各群 10 羽においてレーザー処置時と同様の手技により両側の上関節腔を関節鏡で観察、ビデオに記録した。次いで、4%パラホルムアルデヒド溶液 (PFA) による頭頸部灌流固定後、顎関節部を周囲組織と一塊に摘出、さらに PFA にて 48 時間の浸漬固定を行った後、Plank-Rychlo 急速脱

灰法にて 24 時間脱灰、5%硫酸ナトリウム液で中和、水洗の上、通法によりパラフィン包埋した。矢状断で 5 μ の切片を作製、H-E 染色、Alcian blue 染色 (pH 2.5, 1.0), ならびに軟骨組織の消長をみる目的で抗ヒトコラーゲン I, II 型のマウスモノクローナル抗体 (富士薬品工業) による免疫組織化学的観察を Labelled Streptavidin Biotin 法により行った。

電顕試料は、McDowell-Trump の変法に従い、前固定として 1%グルタルアルデヒドと 4%ホルマリンの混合液 (0.2 M カコジル酸緩衝液 pH 7.2) に 72 時間浸漬固定、後固定として 1%オスミウム酸溶液 (pH 7.4) で 3 時間再固定し、脱水、臨界点乾燥、金蒸着を施し、走査電子顕微鏡 (日立: S-650 型) により 3 次元的超微形態の観察を行った。

結 果

被験動物のうち、発育曲線、局所の創治癒などから、観察、評価に供しえた有効動物数は 62 羽、77.5% であった。sham operation とした対照側顎関節は関節鏡所見、組織所見共、全経過を通し特に変化を認めなかった。

1. 関節鏡所見

実験群の関節鏡所見は Table 1 の如く、円板ならびに周囲組織の変化を軽度障害から重度まで 6 段階のいずれかに分類した。すなわち、I: 鏡視的にほとんど変化を認めないもの。II: 滑膜に血管系の変化 (毛細血管増生、充血、うっ血、小出血等) を認める以外、他に明らかな変化がみられないもの。III: 円板周囲に瘢痕様線維組織の増生など、上関節腔の線維性変化 (fibrillation) をみるが、明らかな壊死巣はみられないもの。IV: 円板後部結合織との境界に小壊死巣ないし実質欠損をみるが、明らかな円板穿孔はみられないもの。V: 円板穿孔を認めるもの。VI: 円板の大部分が壊死、崩壊、ないし、それ以上の程度に及ぶ障害が生じたもの (Fig. 2) で、最も多いのは Grade IV 次いで III で全体の過半数を占めた。また、円板穿孔 (Grade V) は初期の 3 週までに多く、円板ならびに周囲組織の広範な壊死 (Grade VI) は 9 週以降にみられた。すなわち、Grade V と VI の頻度に処置後 7~9 週を境とした扁在がみられることから、変化が段階的に V から VI へと進行することが示唆された。また Grade III, IV は全観察期間に分布していることから損傷を受けた円板には、明らかな治癒帰転が生じないことが推察された。

Table 1 Arthroscopic grading of postoperative changes (Disc and upper joint cavity)

Weeks after operation		1	3	5	7	9	11	13	15	total (%)
Grade	Characteristics									
I (Slight)		2	1	0	1	1	0	0	1	6 (9.7)
II (Moderate)	Synovitis	1	1	1	0	0	0	0	0	3 (4.8)
III	Fibrillation	0	0	2	4	2	2	1	2	13 (21.0)
IV	Limited necrosis	4	3	4	3	2	3	3	1	23 (37.1)
V (Severe)	Perforation	3	3	1	1	0	0	0	0	8 (12.9)
VI	Massive necrosis	0	0	0	0	1	3	2	3	9 (14.5)
total		10	8	8	9	6	8	6	7	62 (100)

一方、Grade I も処置後 15 週にわたり 9.7% に見られることから、レーザーエネルギーの制御は困難であることが示唆された。

2. 組織学, 免疫組織化学ならびに SEM 所見

1) 正常所見

対照群の顎関節部矢状断では、関節円板は関節結節と下顎頭に囲まれた関節腔を二分する形で存在し、中央部が狭窄、前後部で肥厚した凹レンズ状の形態を呈している。その実質は緻密なコラーゲン様の線維束間に軟骨細胞が散在する線維軟骨である。

関節結節および下顎頭は表面を一層の薄い線維性被膜に被われた軟骨で、なめらかな半円形の曲線を描き、互いの関節面と対向する突起をなしている。

下顎頭の軟骨層には表層 (mesenchymal layer)、中間層 (proliferative zone)、深層 (hypertrophic zone) の 3 層が観察される。表層は扁平な線維芽細胞様あるいは間葉系細胞が多く、中間層、深層では円形の軟骨細胞が基質中の小腔にみられ、深層にいくほど軟骨細胞、小腔は大型で柱状に配列する。

関節結節の軟骨層は下顎頭に比し薄く軟骨細胞に乏しく、表層は間葉系細胞が主体をなし、深層に至って軟骨基質と軟骨細胞がみられる。

コラーゲン I 型および II 型の免疫組織化学的所見は、I 型が軟骨層の表層と中間層および軟骨下骨で陽性であるのに対し、II 型は軟骨層の深層および円板の中に陽性で、両者の局在はほぼ正反対であった (Fig. 3)。

SEM では、円板の表面は一層の薄い線維性被膜で被われ、その下に幅が約 40~60 μ 、周期が約 5~7 μ のゆるやかな規則性のある凹凸が短い間隔で連続した波状構造がみられる。その断面では、緻密な線維束が比較的規則正しい方向性をもって配列している (Fig. 4)。

2) 実験群の所見

関節鏡所見 Grade I~II の円板組織では、実験部位に一致して熱凝固によると思われるエオジンに濃染した線維束がみられる。alcian blue 染色では線維束中に軟骨基質が染め出されているが、対照群と同等のパターンであり (Fig. 5-a, b)、関節結節および下顎頭には明らかな変化を認めなかった。

SEM では、円板表面の線維性被膜に変性と一部剝離の所見がみられ、その中心部の断面では熱凝固による線維束の変形が明らかである (Fig. 6)。これらの所見は関節鏡所見の Grade I, II に共通した。同じく Grade III の円板では、実験部位の全層に及ぶ変性と同部に一致した軟骨基質の消失がみられる (Fig. 5-c, d)。

Grade IV では、凝固された円板後部結合織の炎症反応と壊死傾向が強くなり、円板実質の軟骨基質は広範に消失している (Fig. 5-e, f)。

Grade V では、穿孔部辺縁は壊死に陥り (Fig. 5-g, h)、SEM では線維性被膜に著しい変性と剝離がみられ、表層の波状構造は消失し、実質の線維束は融解壊死と思われる変化で原形をとどめていない (Fig. 7)。Grade V および VI の下顎頭では関節面に凹凸不整の変形が生じ、表層から深層に至る軟骨細胞層の配列は不規則、一部不明瞭となり、軟骨下骨や骨髄側には著明な炎症反応がみられる。同部ではコラーゲン I 型ならびに II 型の両者が陰性化し、軟骨層の強い変性をうかがわせる (Fig. 8)。これらの所見は全観察期間における Grade III~V で、程度の差はあるものの基本的に共通し、変性を被った円板に修復や再生をうかがわせる形態的な変化はみられなかった。

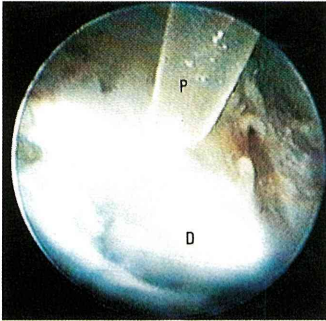


Fig. 1 Arthroscopic view of upper joint cavity (P : Laser probe, D : Disc)

Fig. 2 Arthroscopic findings of the postoperative changes

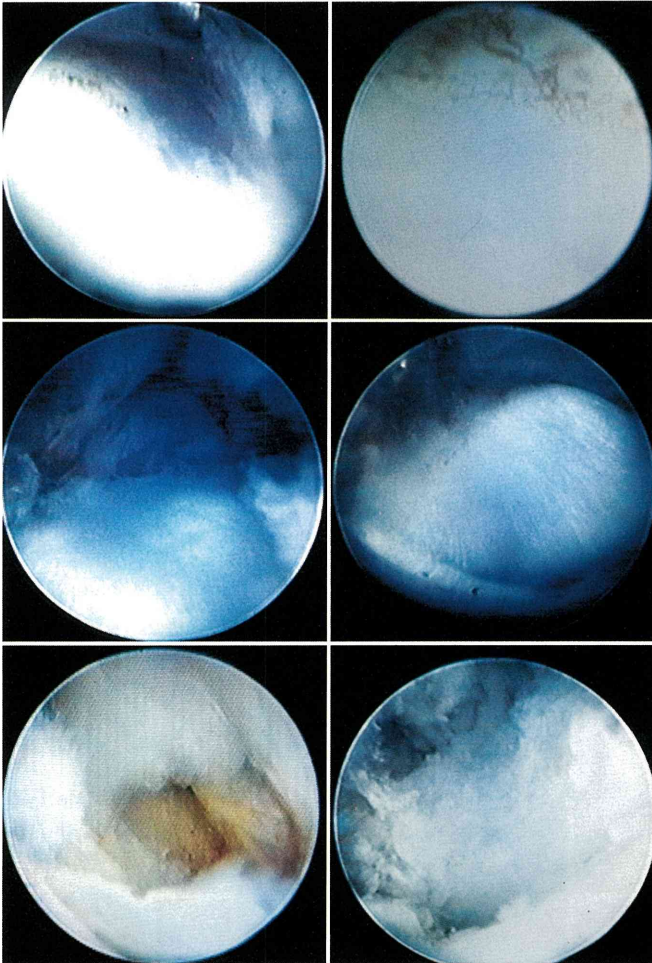
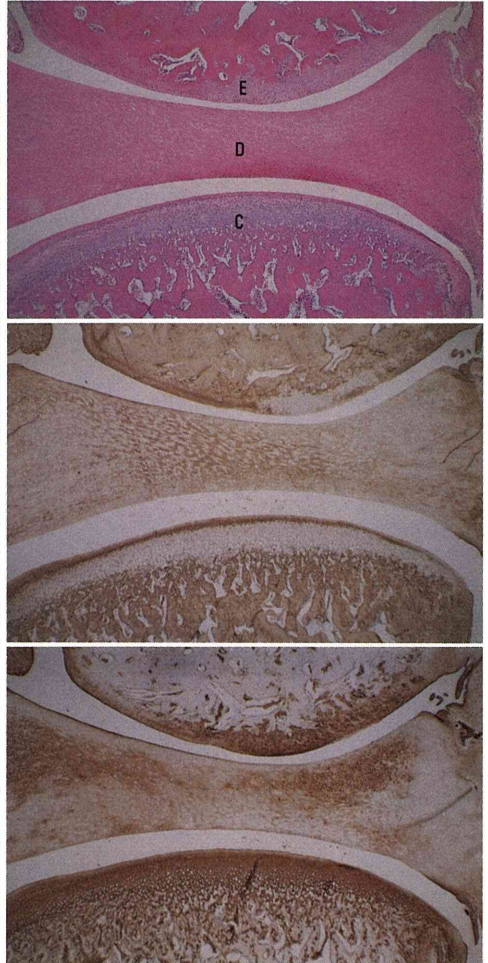


Fig. 3 Normal temporomandibular joint (E : Eminence, D : Disc, C : Condyle)



Grade I	Grade II
Grade III	Grade IV
Grade V	Grade VI

H-E ×10
Immunohistchemical staining of collagen type I ×10
Immunohistchemical staining of collagen type II ×10

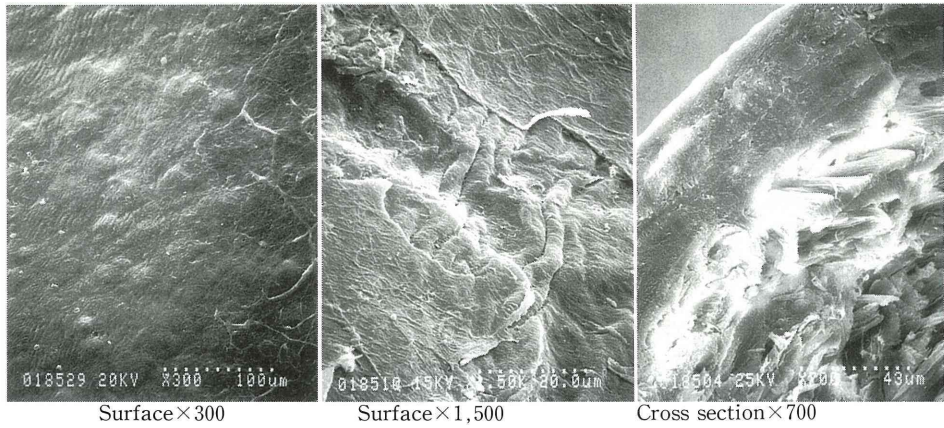


Fig. 4 Normal disc (SEM)

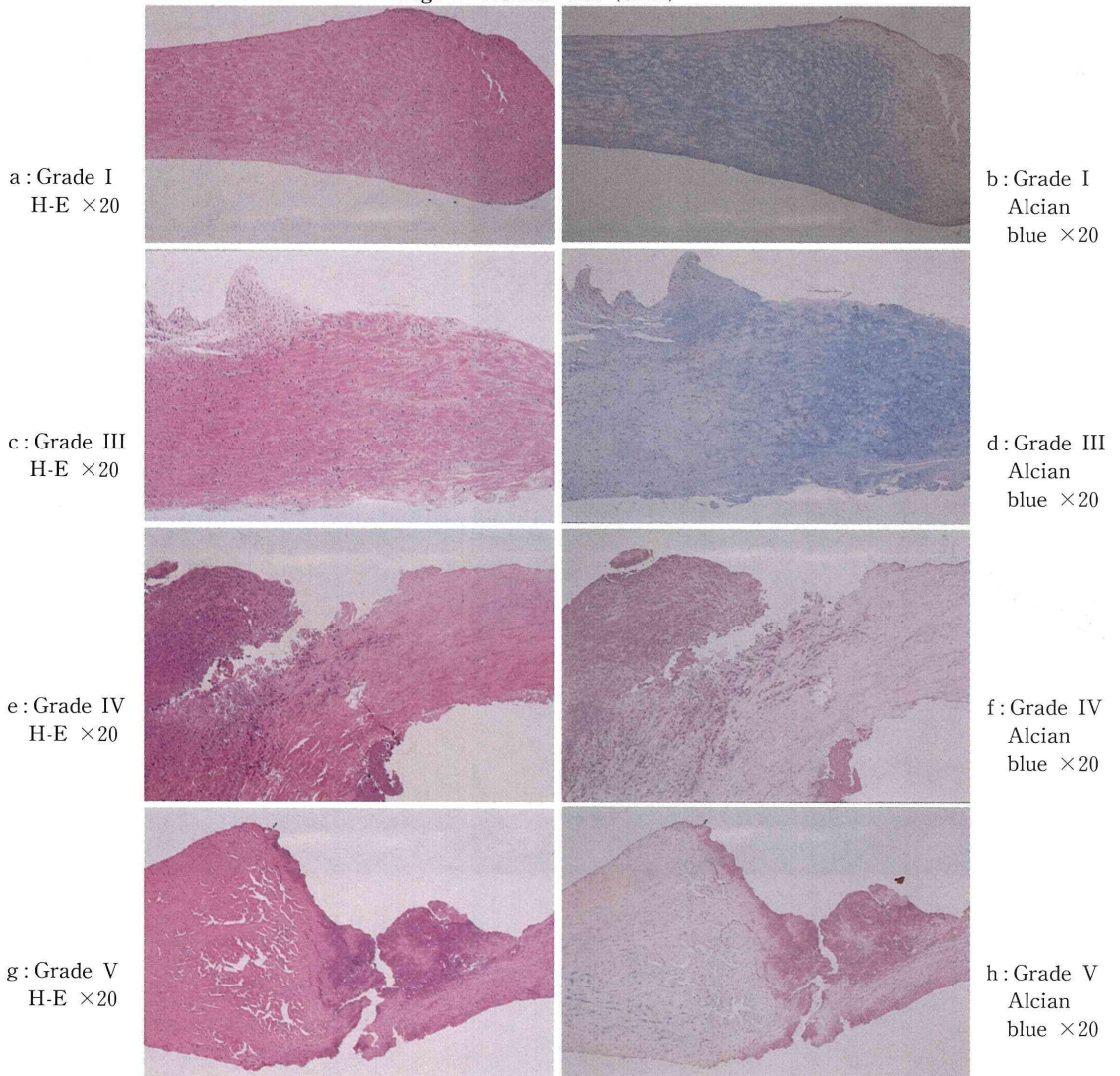


Fig. 5 Postoperative changes of the discs

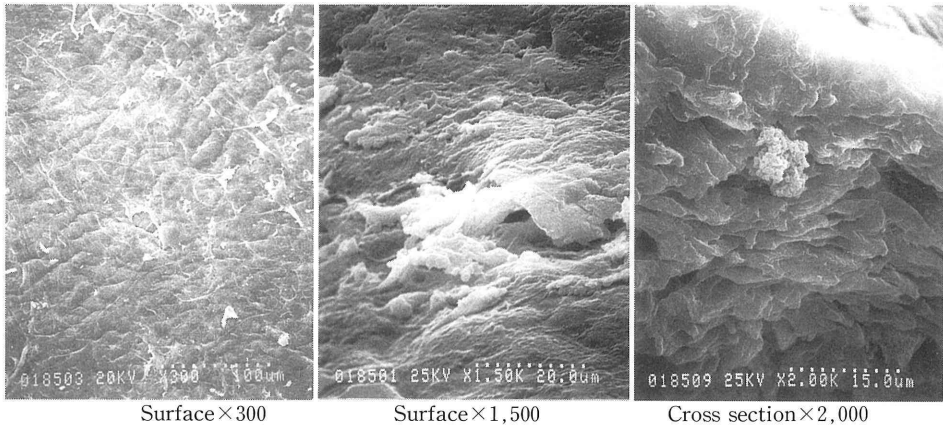


Fig. 6 Postoperative changes of the Grade I disc (SEM)

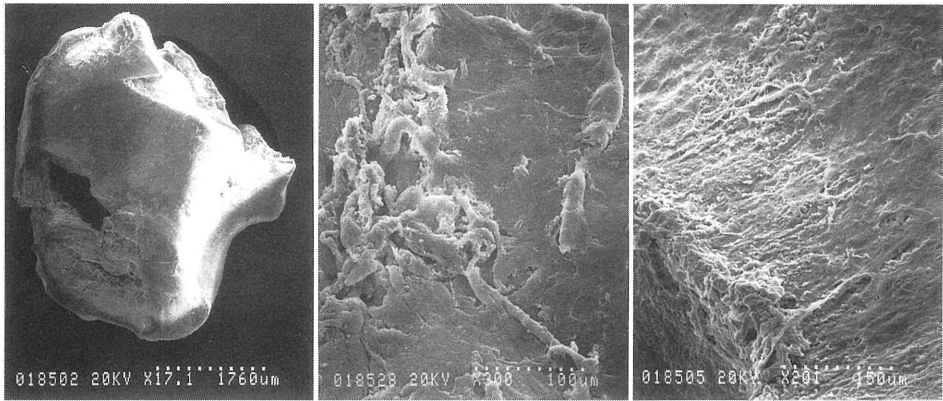


Fig. 7 Postoperative changes of the Grade V disc (SEM)

考 察

近年、顎関節症における顎関節内障の病態の概念が認識され、その病態の解明に伴い、治療法として1986年、Sanders¹⁾によるarthroscopic lysis and lavageが、1988年には村上、松木²⁾による関節鏡視下剥離授動術の臨床成績が報告され、顎関節鏡視下手術が定着しつつあり、手術機器の開発により電気メス、電動パワーシェーバー、YAGレーザーの応用も散見される³⁾⁴⁾。

顎関節鏡視下手術におけるレーザーの応用では、線維性癒着円板の剥離、切断や、円板後部結合組織への照射によって同部の癒痕収縮を期待する円盤整位術などが考えられるが、臨床での利用を考慮した顎関節構成組織への障害、影響は報告されていない。

本実験におけるレーザー照射後の関節鏡所見では、円板損傷の程度はGrade I～VIと多彩な変化がみられた。Nd-YAGレーザーは組織透過率が大きく、かつ組織内における散乱が多いため⁵⁾、上関節腔に重度損傷を受けたGrade V, VIでは、円板の広範な変性、穿孔、解離壊死という円板実質の崩壊が観察された。

レーザー光の生体反応を決定づける因子は生体構成成分のスペクトル特性であり、Nd-YAGレーザーの紫外から赤外領域の分光学的検討で、波長領域1.06 μm付近における透過率は、血液、コラーゲン、メラニンの順に高く約40～30%である⁶⁾。緻密な膠原線維束が主体を成す円板は、Nd-YAGレーザー照射時に表面の障害が少なくても、その直下から深部への熱障害が及んでいると思われる。また、一方で円板の全崩壊に至る変化については、単にレーザー

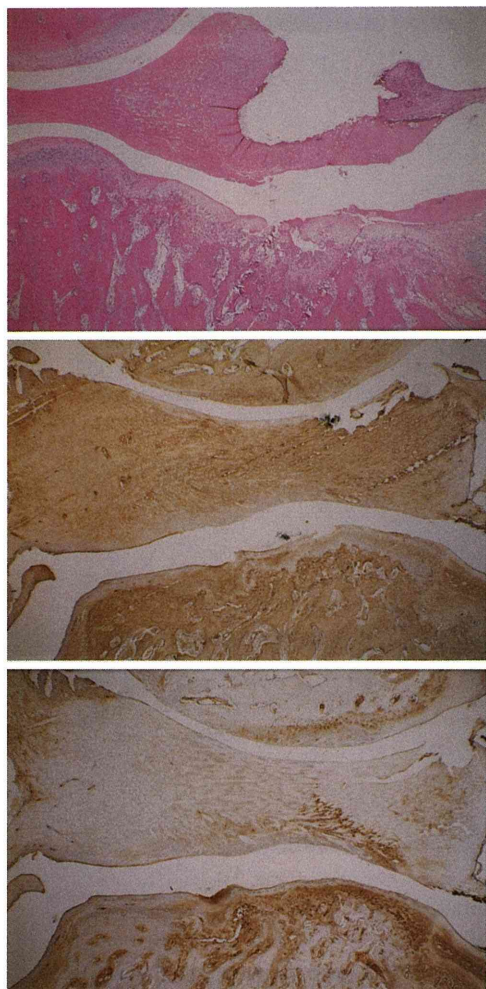


Fig. 8 Postoperative changes of the Grade V TMJ

H-E ×10

Immunohistchemical staining of collagen type I ×10

Immunohistchemical staining of collagen type II ×10

による熱障害だけでなく、損傷後変性した円板に対して顎運動による応力の影響も考えられ、それは下顎頭関節面の変形や、軟骨層の変性とも関連している。

軽度損傷の Grade I では、円板および周囲組織はほぼ正常に近い状態で、これは YAG レーザーは色調選択性が強く、白色の円板に一定条件のレーザー照射を行っても、エネルギー吸収量は様々である。また、赤外領域で最も光学特性に影響を及ぼすのは水の吸収スペクトルで、Nd-YAG レーザーの水の光消散長は 80.8 mm である。水および組織のエネルギー吸収は表面より深くなるにつれて増加し、約 1 mm の深さで最大となり、以下漸減し約 10 mm の深さまでエネルギー吸収が行われることから⁶⁾、レーザー照射時の灌漑水量の影響が大である。予備実験において、本実験と同一条件のレーザー照射部では、1 秒後の最高温が 100°C に達した。臨床では術部の貯留水量はほぼ差がなく、レーザー照射時の灌漑水量を十分検討することが望ましい。これらから、レーザー照射部組織は含有する色素や水分量によって左右され、照射時に熱作用の及ぶ範囲を予測するのはかなり困難である。

顎関節構成組織における基礎的研究では、電子顕微鏡的観察や⁷⁻⁹⁾、円板または下顎頭軟骨損傷後の修復に関する実験的研究は多数報告をみる¹⁰⁾⁻²⁰⁾。

本実験の家兎正常関節円板の走査電顕による観察は、表層は薄層で被覆され、規則正しい膠原線維束による波状構造を呈し、前記研究者らの報告⁷⁻⁹⁾とほぼ同じであった。

顎関節における関節円板あるいは下顎頭軟骨損傷後の修復に関する実験的研究の過去の業績では、損傷の部位、深さ、範囲などによって報告は様々である¹⁰⁾⁻²⁰⁾。

Sprinz¹⁰⁾、三沢¹¹⁾ は関節円板に切創を加え、円板辺縁の血管分布領域近くの切創、または円板から滑膜に及ぶ切創を加えたものにも、滑膜由来の線維組織および毛細血管網の形成が認められ、創の修復が観察されたと述べている。

関節円板全層切除 (diskectomy) を行った研究では¹²⁾⁻¹⁶⁾、円板の修復、再生は起こらず、下顎頭の不整、下顎頭軟骨層の過形成を報告している。

Hochman and Laskin¹⁷⁾、中田¹⁸⁾ は、下顎頭軟骨損傷後の修復の有無に関する研究で、損傷部に隣接する軟骨細胞の増殖により、下顎頭軟骨層の治癒過

程がみられたと報告している。

中村¹⁹⁾は円板全層切除、宮木ら²⁰⁾は円板部分切除後を行い、円板の再生はみないが、下顎頭軟骨層は軟骨細胞の反応性増殖により、顎運動機能を維持させるための適合性変化による再構築がみられたと報告している。

以上を総括すると、下顎頭の修復および再構築は軟骨細胞の増殖によって起こるが、円板では滑膜に及んだ切創を加えたもののみ修復がみられ、円板切除術 (diskectomy) に再生はみられていない。円板は軟骨細胞と膠原線維束からなり血行がないため、円板自体には治癒能力はないと推察され、滑膜からの毛細血管および線維形成が創部を修復すると考えられている。著明な炎症症状を呈さない顎関節症では、顎運動時の関節痛に滑膜炎の関与が重視されつつあり、顎関節内障の病態を形づくると考えられる。

本実験の Grade V, VI の円板は、SEM で波状構造の消失、表層の線維性被膜の剝離、変性、穿孔、融解壊死する経過をたどり、円板の組織修復および再生はみられなかった。熱障害がほとんど生じなかった Grade I の円板は、ほぼ正常と変化はなかった。また、円板崩壊後の顎運動との関連性は不明であるが、下顎頭軟骨層の再構築は確認できなかった。

本研究により、顎関節鏡視下レーザー手術は臨床で高い有用性は期待されるものの、再生能のない関節円板への侵襲回避を充分配慮する必要性が示唆された。

結 語

家兎関節円板において、鏡視下に Nd-YAG レーザー照射後の変化を検討し、以下の結果を得た。

1. 関節鏡視的に、円板ならびに上関節腔の損傷は軽度 9.7%、中等度 62.9%、重度 27.4%がみられ、関節腔内の色調ならびに Nd-YAG レーザーの色選択性から、そのエネルギー制御は比較的困難なことが示唆された。

2. 組織学的には、損傷を受けた円板実質は凝固、壊死に陥り、これを取り囲む広い範囲で軟骨基質の消失が観察された。電顕的には表層の線維性被膜の剝脱、変性、直下の膠原線維束の融解、壊死が明らかであった。これらの組織変化は不可逆的で、重度の損傷では数週間の経過をとり、円板の部分壊死から穿孔、全崩壊へと進行した。

3. 円板に重度の損傷を受けた顎関節では、関節結節および下顎頭軟骨の一部に変性がみられた。

4. 光顕、電顕的に、関節円板には明らかな組織修復、再生の帰転が認められなかった。

5. Nd-YAG レーザーによる顎関節部の組織変化は著明で、鏡視下手術においては高い有用性が期待される一方、円板等再生能のない組織に対する注意が喚起された。

本論文の要旨は、第 5 回日本レーザー歯学会 (平成 5 年 11 月, 東京)、第 39 回日本口腔外科学会総会 (平成 6 年 11 月, 名古屋) に於いて、口演にて発表した。

稿を終えるに臨み、終始御懇篤なる御指導と御高闊を賜りました恩師内田安信教授に深甚なる感謝の意を捧げます。また直接の御指導をいただきました工藤泰一講師 (現東邦大学助教授) に深謝致します。ならびに御協力いただきました千葉博茂教授、山田容三助教授をはじめ医局員各位に御礼申し上げます。

本研究の一部は平成 5 年度文部省科学研究費 (一般研究 C, 課題番号 05671688) により行われたものであり、ここに付記して謝意を表します。

引用文献

- 1) Sanders, B.: Arthroscopic surgery of the temporomandibular joint; Treatment of internal derangement with persistent closed lock. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* **62**: 361~372, 1986.
- 2) 村上賢一郎, 松木優典, 徳地正純, 塚本行雄, 飯塚忠彦: 顎関節内障に対する関節鏡視下剝離授動術の経験. *日口外誌* **34**: 1140~1147, 1988.
- 3) McCain, J.: Arthroscopy of the human temporomandibular joint. *J Oral Maxillofac Surgery* **48**: 684~655, 1988.
- 4) 瀬上夏樹, 村上賢一郎, 宮木克明, 森家祥行, 藤村和麿, 横山忠明, 飯塚忠彦: 顎関節内障に対する電気メス, レーザー, シェーバーを用いた関節鏡視下手術法. *日口外誌* **36**: 2094~2102, 1990.
- 5) Buchholtz, J.: Scattering effects in laser surgery. *Laser Surg. II*: 299~307, 1979.
- 6) Kikuchi, M., et al.: Special transmittance and refarence of living tissues and change of their optical characteristics under Nd-YAG laser irradiation. 第 3 回医用レーザー研究会論文集, 医用レーザー研究会, 東京, 141, 1979.

- 7) Silva, D.G.: Further ultrastructural studies on the temporomandibular joint of the guinea pigs. *J. Ultrastruct. Res* **26**: 148~162, 1969.
- 8) 田口 望: 顎関節関節軟骨および関節円板の微細構造に関する研究: 日口外誌 **26**: 929~944, 1980.
- 9) 布施修一郎: ラット顎関節円板の線維構築の機能的意義に関する走査ならびに透過電顕的研究. 口病誌 **47**: 9~21, 1980.
- 10) Sprinz, R.: Further observations on the effect of surgery on the meniscus of the mandibular joint in rabbits. *Arch Oral Biol*, **5**: 195~201, 1961.
- 11) 三沢常美: サル顎関節関節円板における実験的微小損傷の治癒過程に関する組織学的観察. 日病誌 **49**: 211~238, 1982.
- 12) Dubecq, X.J.: Recherches morphologiques, physiologiques et cliniques sur le ménisque mandibulaire: luxation habituelle et craquements temporomaxillaires. *J. Méd. Bordeaux*, **114**: 125~178, 1937.
- 13) Sprinz, R.: The role of the meniscus in the healing process, following excision of the articular surfaces of the mandibular joint in rabbits. *J Anat* **97**: 345~352, 1963.
- 14) 小野尊睦, 福井正義, 島原政司, 横矢 喬: meniscotomy に関する実験的研究. 日口外誌 **19**: 44~51, 1973.
- 15) Wheat, P.N., Evaskus, D.S. and Laskin, D.M.: Effects of temporomandibular joint meniscotomy in adult and juvenile primates. *J Dent Res*, 56 special issue B: B139, 1977.
- 16) Yaillen, D.M. Shapiro, P.A. Luschei, E.S. Feldman, G.R.: Temporomandibular joint meniscotomy—effects on joint structure and masticatory function in *Macaca fascicularis*. *J Maxillofac Surg* **7**: 255~264, 1979.
- 17) Hochman, L.S. and Laskin, D.M.: Repair of surgical defects in the articular surface of the rabbit mandibular condyle. *Oral Surg*, **19**: 534~542, 1965.
- 18) 中田茂樹: 下顎頭関節軟骨損傷の修復に関する実験的研究. 日口外誌 **29**: 55~68, 1983.
- 19) 中村 哲: 顎関節における関節円板切除の修復機転に関する実験的研究. 金医大誌 **14**: 19~38, 1989.
- 20) 宮木克明, 村上賢一郎, 瀬上夏樹, 飯塚忠彦: 家兎顎関節関節円板部分切除後の修復過程と関節構造の変化に関する実験的研究. 日口外誌 **37**: 58~64, 1991.

(別刷請求先: 〒160 東京都新宿区西新宿 6-7-1

東京医科大学口腔外科学講座 下川千可志)