

顎関節腔洗浄能力に関する流体力学的基礎的研究

大平 明範

岩手医科大学歯学部口腔外科学第二講座

(主任：関山 三郎 教授)

(受付：2001年11月8日)

(受理：2001年11月20日)

Abstract : To simulate the temporomandibular joint articular cavity irrigation, a superior articular cavity model was fabricated with ethylene-vinyl resins, based on measurements by single-contrast arthrography and the scale of the mantle tube. Experiment methods, after injection of 1% indigo carmine solution, the model was perfused with distilled water by the arthrocentesis (AC) and pumping lavage system (PLS) irrigation. Using particle induced X-ray emission, we quantitatively analyzed the amount of sulfur, a component element of the indigo carmine, contained in the effluent fluid and in the remaining fluid in the model. The differences in the effectiveness of the two irrigation methods were hydro-mechanically evaluated.

AC was highly effective in cases in which an inflow needle was placed in the posterior compartment, an outflow needle in the anterior compartment, and the flow of the perfusate was fast ; however, differences were observed depending on the position in which the outflow needle was inserted. PLS was considered to be a comparatively effective method.

Key words : arthrocentesis, pumping lavage system, irrigation effectiveness, particle induced X-ray emission, temporomandibular joint

緒 言

顎関節痛や開口障害を有する顎関節症患者のうち、各種の保存療法が奏功しない症例に対して、上顎関節腔洗浄療法¹⁻⁹⁾ (arthrocentesis : 以下 AC と略す) や上顎関節腔パンピング洗浄システム⁹⁾ (pumping lavage system : 以下 PLS と略す) 法が行われており、いずれも高い治療成績が報告されている。このうち、AC 法は、インフロー針とアウトフロー針を上顎関節

腔内に穿刺し、生理食塩水^{4,9)} (以下生食と略す) または乳酸リンゲル液^{1-3,5,8)} を連続灌流させ上顎関節腔内を洗浄する方法である。一方、著者が考案した PLS 法は、単一穿刺で生食の加圧注入と吸引回収をくり返して、上顎関節腔内を洗浄する方法である。後者は AC 法と比較して少ない洗浄量で高い治療成績が得られる特徴を有している⁹⁾。しかし、これまで両洗浄法の洗浄能力の差について、流体力学的に解析した報告はみられない。

A comparative hydro-mechanics foundations study on temporomandibular joint articular cavity irrigation

Akinori OHIRA

(Second Department of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Dentistry, Iwate Medical University, Morioka 020-8505, Japan)

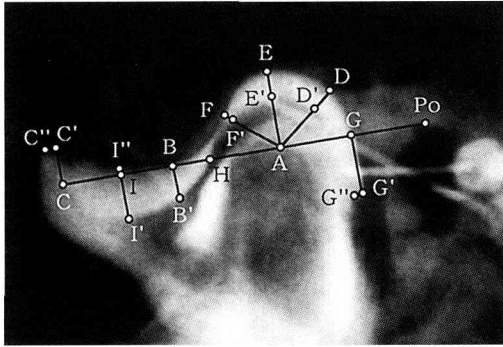


Fig. 1. Measurement points on sagittal single-contrast arthrography of the superior articular cavity.

本研究では、顎関節単一造影X線画像および顎関節鏡視下手術に用いた外套管の計測値をもとにエチレンビニール樹脂を用いて作製した上顎関節腔モデル（以下モデルと略す）を使って、両法のシミュレーション実験を行い、それぞれの洗浄能力および洗浄機構の違いについて流体力学的な検討を加えた。なお、洗浄能力についてはモデルに予め注入したインジゴカルミン（ $C_{16}H_{18}N_2Na_2O_8S_2$ ）溶液の成分元素である硫黄（sulfur：以下Sと略す）の排出液および残留液中に含まれる量でもって評価し、洗浄機構については、透明なモデルにより可視化されたインジゴカルミン溶液の流れを観察することによって確認した。

方 法

1. モデルの作製方法

(1) モデルの形状および寸法

モデルの形状および寸法のうち矢状断方向の上顎関節腔形態は、1994年4月から2000年3月までの間に当科で上下顎関節単一造影X線検査を行った顎関節症患者88例（95関節）の矢状断方向の造影X線画像をもとに決定した。Fig. 1に示す造影X線画像上で以下に記述する基準点および基準線を設定し、それらの間の距離を計測し、その平均値をもとに上顎関節腔を再現した。

・骨外耳道の最上縁点Poと関節結節Bを結び、その延長線上で上顎関節腔前方部で交わる

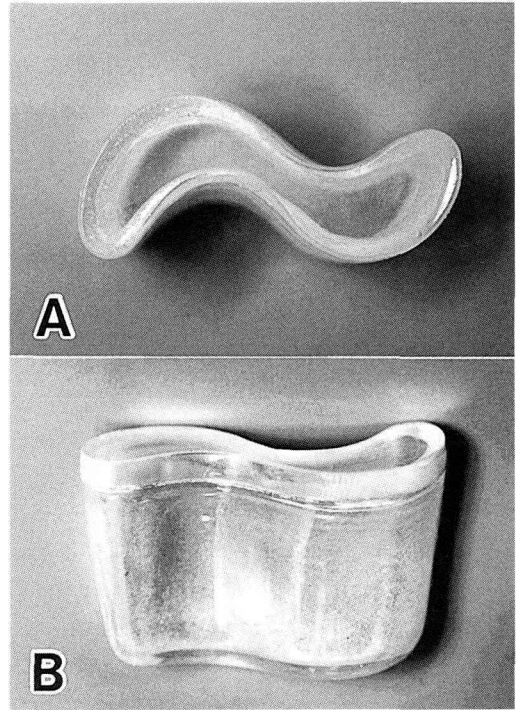


Fig. 2. Superior articular cavity model.

A : The side form. This was produced from the measurement points on sagittal single-contrast arthrography, and becomes the superior surface during irrigation. The upper half in this model becomes the area in the direction of the parital region, the right side becomes the anterior compartment, and the left side becomes the posterior compartment. The antero-posterior length of the inner surface of the model was 29.6mm and the width was 10.9mm.

B : The top form. The depth of the superior articular cavity model was determined based on the measurements of the scale of the mantle tube. This corresponds to the medial-lateral width in the articular cavity and becomes the lateral surface during irrigation and the depth was 20.0mm.

点をCとし、PoとCを結ぶ線を基準線Po-Cとした。

・下顎窩の最深点Eから、Po-Cに垂直に交わる点をAとした。

・Aから後方および前方45°で下顎窩の輪郭線と交わる点をそれぞれD、Fとし、A-E、

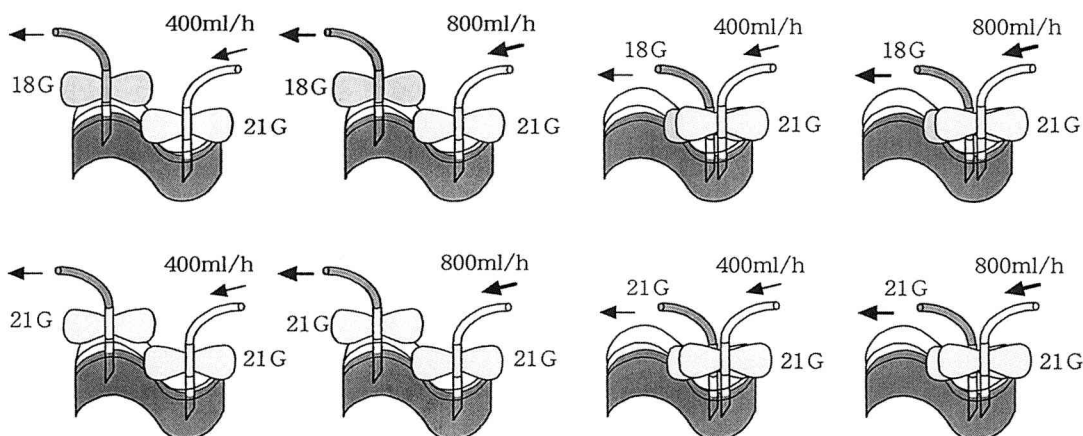


Fig. 3. Irrigation method in arthrocentesis.

Differences in irrigation effectiveness were measured between the cases in which the outflow needles were 18 and 21 gauges, the outflow needles being inserted in anterior compartment and in the posterior cavity and the influent speed of distilled water was 400 and 800ml/h.

A-D, A-F の線上で上顎関節腔との境界点をそれぞれ E', D', F' とした。

- ・前方滑膜間腔の最前方を C'' とし, Po-C 上の C から垂線を引き, C'' を通る Po-C の平行線上で交わる点を C' とした。

- ・Po-C の垂線上で下顎窩後部部の輪郭線と交わる点を G とし, 後方滑膜間腔の最後方を G'' とした。

- ・Po-C 上の G から垂線を引き, G'' を通る Po-C の平行線上で交わる点を G' とした。

- ・Po-C 上で円板上面が接する点を H とした。

- ・B から垂線を引き, 上顎関節腔の境界点を B' とした。

- ・Po-C の垂線上で前方滑膜間腔で最も幅がある部位を I とし, 上部を I', 下部を I'' とした。

なお, 顎関節腔の造影 X 線撮影は, 被験側顎関節の皮膚面を床に対し平行となるように固定し, 管球を足側から 25° 傾斜した位置に設定し, X 線透視下に陽性造影剤 (meglumine sodium amidotrizoate; SCHERING 社) を下関節腔へ約 0.3ml 注入し, 続いて上関節腔へ約 1.0ml の注入を行った。使用した装置は, 200 kHU 回転陽極 X 線管装置 (サークレックス®; 島津製作所) で, X 線透視の条件は, 管電圧 80~90kVp, 管電流 1~2 mA であり, 撮影条件は,

管電圧 80~90kVp, 管電流 200~300mA とし, 撮影時間は 0.03~0.1sec とした。

一方, 内外側径の設定は, 1996年1月から1999年12月までの間に当科で顎関節鏡視下手術を行った 48 例 (71 関節) に用いた外套管 (Stryker 社) に記載されているスケールの数値を参考に 20mm に設定した。

(2) 熱成型法による樹脂製モデルの作製

上記の計測値をもとに矢状断形態および内外側径を再現した上顎関節腔の石膏模型を作製した。厚さ 3.0mm の弾性を有するエチレンビニール素材の透明なシート (SCHEU-DENTAL 社) を加熱プレス器 (Bioster®; SCHEU-DENTAL 社) を用いて 220°C で 80 秒加熱して軟化させ, 石膏模型上にプレスし, 上顎関節腔を形どった容器状の枠を作製した。枠の開放部を同一のシートで蓋をし密閉したものをモデルとした。モデルの容積は 3.6ml で, 内面の前後径は 29.6mm, 幅径 10.9mm, 深さ 20.0mm であった (Fig. 2)。モデルの個数は, 各実験項目ごとに 3 個, 合計 30 個を使用した。

2. モデル関節腔内の洗浄方法

AC 法と PLS 法のいずれの場合も, 先ずモデル内にインジゴカルミン (関東化学社) の原末を注射用蒸留水 (扶桑薬品工業社) で 1% に調整した溶液 2 ml を注入した。

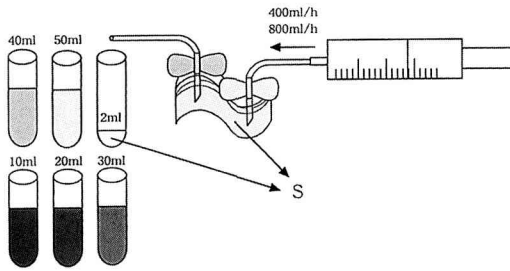


Fig. 4. Arthrocentesis.

After irrigating 1% indigo carmine solution in the superior articular cavity using 50ml distilled water, the amount of sulfur (S) contained in the effluent fluid and that in the remaining fluid in the superior articular cavity model were quantitatively analyzed after irrigating the model with an additional 2 ml distilled water.

洗浄実験の際にモデルを固定するため、上顎関節腔の前方および後方滑膜に相当する部位が適合するように作製したアクリル製の枠に入れ、モデルの下顎窩と関節結節の面を枠に接着し固定した。

AC法では、インフロー針に21ゲージ (gauge: 以下Gと略す) の翼付静注針, アウトフロー針には21Gまたは18Gの翼付静注針を使用し, 注射針のカット面を頭頂部方向に向け, 針先がモデルの底部から5mmとなるように垂直に穿刺した。インフロー針の穿刺部位は, モデルの最後方部から5mmの位置1箇所とした。アウトフロー針の穿刺部位は, モデルの最前方部から5mmの位置 (前方腔) または最後方部から7mmの位置 (後方腔) とした。洗浄は蒸留水をシリンジポンプ (TE-312®; テルモ社) を使用してインフロー針から流入させ, アウトフロー針から排出するようにして行った。流入速度は400 ml/h または800 ml/h に設定した (Fig. 3)。洗浄実験1回につき蒸留水50mlを使用し, 排出される液を10mlずつ回収した。50mlの洗浄が終了した後, 2mlの追加洗浄を行い, このとき排出された溶液とモデル内に残留した溶液を分析用の試料とした。なお, モデル内の残留液の採取は, 洗浄に用い針を抜き取り, 新

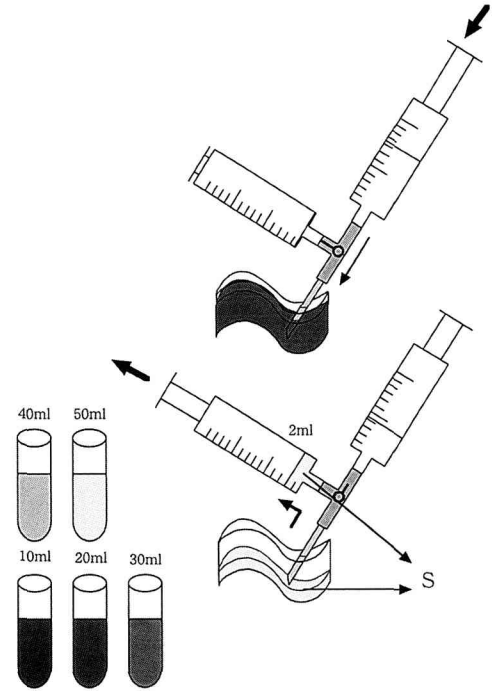


Fig. 5. Pumping lavage system.

After irrigating 1% indigo carmine solution in the superior articular cavity model using 50ml distilled water, the amount of sulfur (S) contained in the collected fluid by suction and that in the remaining fluid in the superior articular cavity model were quantitatively analyzed after irrigating the model with an additional 2 ml distilled water.

たにモデル内に穿刺した注射針で吸引することにより行った (Fig. 4)。

一方, PLS法はFig. 5に示すように, 2本の10mlディスプレイシリンジと23G針を三方活栓にそれぞれ接続し, 一方のシリンジは蒸留水注入用とし, 他方のシリンジはインジゴカルミン溶液の吸引回収用とした。針先は関節結節後斜面に相当する部位のモデルの底面から5mmまたは7mmの位置に固定し, 活栓で流路を交互に切り換えて蒸留水の加圧注入とインジゴカルミン溶液の吸引回収の操作を50mlまでくり返した。その後2ml追加洗浄し, 吸引回収した溶液およびモデル内に残留した溶液を分析用の試料とした。また, モデル内の残留液の採取は, AC法と同様に行った。

Table 1. Distance between the two point on sagittal single-contrast arthrography of the superior articular cavity

Measured points	Distance (mm)		
	Mean \pm S.D.	Minimum	Maximum
A-D	6.9 \pm 1.1	4.5	9.0
A-D'	4.4 \pm 1.5	1.5	7.0
A-E	7.3 \pm 1.3	4.5	9.5
A-E'	4.5 \pm 1.5	2.0	7.0
A-F	6.6 \pm 1.2	4.5	10.0
A-F'	4.6 \pm 1.3	2.0	7.5
A-G	7.1 \pm 1.5	3.0	10.0
A-H	7.2 \pm 1.9	3.0	11.0
A-B	11.0 \pm 1.9	7.0	15.0
A-I	14.9 \pm 2.4	9.5	19.5
A-C	19.7 \pm 2.7	13.0	25.0
G-G'	3.6 \pm 2.9	-2.0	13.0
G'-G''	-0.1 \pm 0.3	-0.6	0.6
B-B'	2.8 \pm 0.8	1.2	5.3
I-I'	4.3 \pm 1.5	1.0	7.0
I-I''	0.1 \pm 0.1	0	0.5
C-C'	2.4 \pm 2.9	-5.0	7.5
C'-C''	0.2 \pm 0.6	-1.2	1.4

各洗浄実験を3回ずつ行い、合計54の試料を採取した。

3. 洗浄能力の評価方法

インジゴカルミンの成分元素であるSを粒子励起X線分光¹⁰⁾を用いて定量し洗浄能力の指標とした。追加洗浄時の排出液および残留液中の分析は、先ず試料から100 μ lを採取し、その溶液に内部標準元素として原子吸光分析用インジウム標準液(和光純薬工業社)10 μ gを加え、インジウムの濃度を100ppmとなるように調整した。その溶液を厚さ4 μ mのポリプロピレンフィルム(東レ社)3枚にそれぞれ5 μ lを滴下し、自然乾燥を行った後、小型サイクロトロン(MCY-1750;島津製作所)からの2.9MeV陽子ビームを試料に照射し、発生した特性X線をSi(Li) detectorで検出後にマルチチャンネルアナライザーによりスペクトルに変換し、試料に含まれるSを定量した。

4. 洗浄状態の視覚的評価方法

両洗浄法による洗浄状態の視覚的な評価は、蒸留水20mlおよび40mlで洗浄過程におけるモデ

ル内のインジゴカルミン溶液の流動状態を写真撮影し行った。なお、撮影時には、視野を確保するためにモデルの底部のみアクリル板に接着させた簡易な固定で洗浄した。

5. 統計学的検定方法

残留液中に含まれるS量について、平均値の有意差の検定(t検定;有意水準5%)をStudent法で行った。排出液と残留液中に含まれるS量の比較は、平均値の有意差の検定(t検定;有意水準5%)をPaired法で行った。

結 果

1. 上顎関節腔の形態

モデルの形態を再現するために顎関節症患者のX線画像上で計測した基準点間の距離の平均値と標準偏差をTable 1に示した。

顎関節症患者の上顎関節腔はG-G'(3.6 \pm 2.9mm), G'-G''(-0.1 \pm 0.3mm), C-C'(2.4 \pm 2.9mm), C'-C''(0.2 \pm 0.6mm)間の距離に大きなばらつきがあった。

2. 両洗浄法の排出液中と残留液中のS含有

Table 2. Quantitative analysis of the amount of sulfur (S) contained in the effluent fluid and that in the collected fluid by suction from the model and that in the remaining fluid in the model, after irrigating by particle induced X-ray emission

Arthrocentesis						($\mu\text{g/g}$)
Site of outflow needle puncture	Flow speed	21 gauge		18 gauge		
		The amount of S contained in the effluent fluid ^a	The amount of S contained in the remaining fluid ^a	The amount of S contained in the effluent fluid ^a	The amount of S contained in the remaining fluid ^a	
Anterior compartment	400ml/h	12.4 \pm 8.9	11.0 \pm 3.8 ^{b,c,d}	7.3 \pm 4.9	9.9 \pm 4.1 ^{b,c,d}	
	800ml/h	2.8 \pm 1.8	3.3 \pm 3.3 ^{b-e}	2.9 \pm 2.7	3.4 \pm 2.2 ^{b-e}	
Posterior compartment	400ml/h	24.0 \pm 7.1	34.5 \pm 12.2 ^e	17.7 \pm 6.9	22.6 \pm 3.0	
	800ml/h	11.0 \pm 0.8	* 27.3 \pm 5.9 ^e	9.3 \pm 0.8	14.7 \pm 2.8 ^{b,c}	

Pumping lavage system			($\mu\text{g/g}$)
Position of the needle tip viewed from the base of the model	The amount of S contained in the collected fluid by suction ^a	The amount of S contained in the remaining fluid ^a	
5 mm	3.1 \pm 2.3	4.7 \pm 0.8 ^{b-e}	
7 mm	5.8 \pm 1.5	6.4 \pm 0.9 ^{b-e}	

The amount of S contained in the 1% Indigo carmine ^a 7331.8 \pm 0.2 $\mu\text{g/g}$

a : mean \pm S.D.

b : Comparisons with the amount of S contained in the remaining fluid, in which an 21 gauge outflow needle was inserted in the posterior compartment and irrigation was performed at a flow speed of 400ml/h ($p < 0.05$).

c : Comparisons with the amount of S contained in the remaining fluid, in which an 21 gauge outflow needle was inserted in the anterior compartment and irrigation was performed at a flow speed of 800ml/h ($p < 0.05$).

d : Comparisons with the amount of S contained in the remaining fluid, in which an 18 gauge outflow needle was inserted in the posterior compartment and irrigation was performed at a flow speed of 400ml/h ($p < 0.05$).

e : Comparisons with the amount of S contained in the remaining fluid, in which an 18 gauge outflow needle was inserted in the anterior compartment and irrigation was performed at a flow speed of 800ml/h ($p < 0.05$).

*: $p < 0.05$

量の比較

インジゴカルミン溶液中のS量の測定値をTable 2に示す。両洗浄方法による洗浄能力を検定するため、残留液中のS量を後方腔にアウトフロー針を穿刺した場合のS量と有意差検定を行い、有意差が認められた値 ($p < 0.05$) に記号 (b, c, d, e) を付した。

1%インジゴカルミン溶液のS量は、7,331.8 \pm 0.2 $\mu\text{g/g}$ であった。洗浄後のモデル内のS量は洗浄方法によって異なるが、最も低かったのは針の太さによらず、AC法で前方腔にアウトフロー針を穿刺し、800ml/hの流入速度で洗浄した場合であり、最も高かったのは後方腔に21Gのアウトフロー針を穿刺し、400ml/hの流入速度で洗浄した場合であった。つまり今回の洗浄方法では、モデル内のインジゴカルミン溶液は1/200から1/2,000まで希釈されることが

分かった。

AC法で、前方腔に21Gのアウトフロー針を穿刺した場合の流入速度による違いをみると、400ml/hでは、排出液が12.4 \pm 8.9 $\mu\text{g/g}$ 、残留液は11.0 \pm 3.8 $\mu\text{g/g}$ であったが、800ml/hの場合は、排出液が2.8 \pm 1.8 $\mu\text{g/g}$ 、残留液は3.3 \pm 3.3 $\mu\text{g/g}$ であり、いずれも流入速度が2倍になるとS量は約1/4に減少した。前方腔に18Gのアウトフロー針を穿刺した場合は、流入速度を400ml/hから800ml/hに変化させることにより、排出液および残留液中のS量はそれぞれ約1/2と1/3に減少した。一方、後方腔に21Gのアウトフロー針を穿刺した場合は、流入速度を2倍にすることにより排出液のS量は約1/2に減少したが、残留液では流入速度による差は小さかった。また、後方腔に18Gのアウトフロー針を穿刺した場合は、流入速度が2倍にな

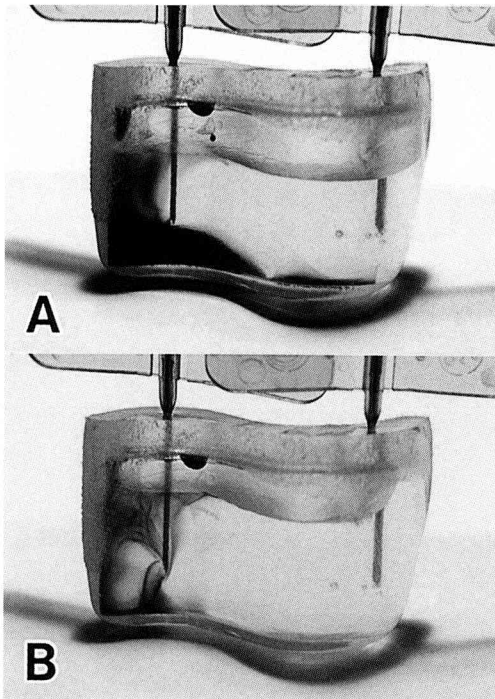


Fig. 6. In arthrocentesis, in which an 21 gauge outflow needle was inserted in the anterior compartment and irrigation was performed at an influent speed of 400ml/h. A : After irrigating with 20ml distilled water. High concentration of indigo carmine solution localized in the inferior area of the posterior compartment was observed. B : After irrigating with 40ml distilled water. Although the posterior compartment became colorless and transparent, indigo carmine solution was observed in the anterior and inferior areas of the outflow needle.

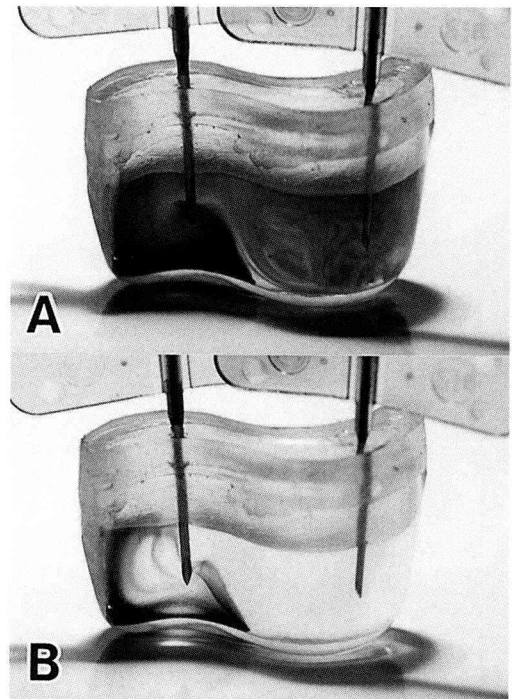


Fig. 7. In arthrocentesis, in which an 18 gauge outflow needle was inserted in the anterior compartment and irrigation was performed at an influent speed of 400ml/h. A : After irrigating with 20ml distilled water. Complicated water flow was observed in the posterior compartment, and rotary motion around the tip of the outflow needle occurred in the anterior compartment. B : After irrigating with 40ml distilled water. Although the posterior compartment became colorless and transparent, indigo carmine solution in the anterior and inferior areas of the outflow needle could not be easily stirred.

るとS量は排出液、残留液ともに約1/2になった。

アウトロー針の穿刺部位の違いによるS量の差をみると、針の径および流入速度の違いによらずいずれも前方腔に穿刺した方が後方腔に穿刺した場合よりS量が少なく、それだけ洗浄能力が高かった。

アウトフロー針の径の違いによるS量をみると、アウトフロー針を後方腔に穿刺した場合で太い径の方が洗浄能力が高く、流入速度が2倍になると残留液中のS量は有意に少なく

なった ($p < 0.05$)。AC法で後方腔に21Gのアウトフロー針を穿刺した場合の残留液中のS量は、排出液より有意に多かった ($p < 0.05$)。

一方、PLS法で、針先の固定位置をモデルの底面から5mmと7mmとした場合を比較すると、吸引回収液および残留液ともにS量に統計学的有意差はなかった ($p > 0.05$)。PLS法の残留液中のS量をAC法の後方腔にアウトフロー針を穿刺した場合と比較すると、固定位置5mmおよび7mmとも有意に少なかった ($p < 0.05$)。なお、PLS法で、針先を底面から5mmとした場

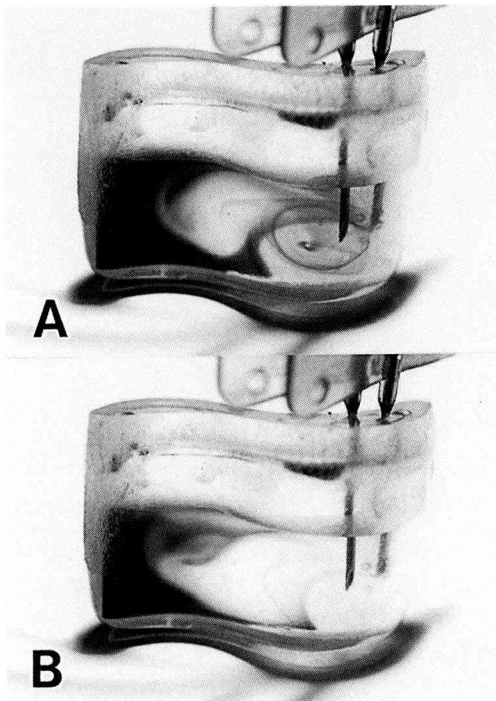


Fig. 8. In arthrocentesis, in which an 21 gauge outflow needle was inserted in the posterior compartment and irrigation was performed at an influent speed of 400 ml/h.

A : After irrigating with 20ml distilled water.

B : After irrigating with 40ml distilled water.

Rotary motion ranging from the posterior to anterior compartment was observed, and indigo carmine solution was diluted according to the increase in the amount of irrigation fluid. However, indigo carmine solution in the most anterior and inferior areas in the anterior compartment could not be easily stirred.

合、1回あたりの吸引回収量は 1.4 ± 0.4 mlで、吸引回収率は70.0%であった。底面から7mmとした場合の吸引回収量は 1.2 ± 0.5 mlで、吸引回収率は60.0%であった。

3. モデル内の流動状態

透明モデル内に濃紺色の1%インジゴカルミン溶液を入れ、蒸留水で洗浄を行うことにより、モデル内の溶液の流れを視覚的に評価することができた。

AC法では、インフロー針から流入した蒸留

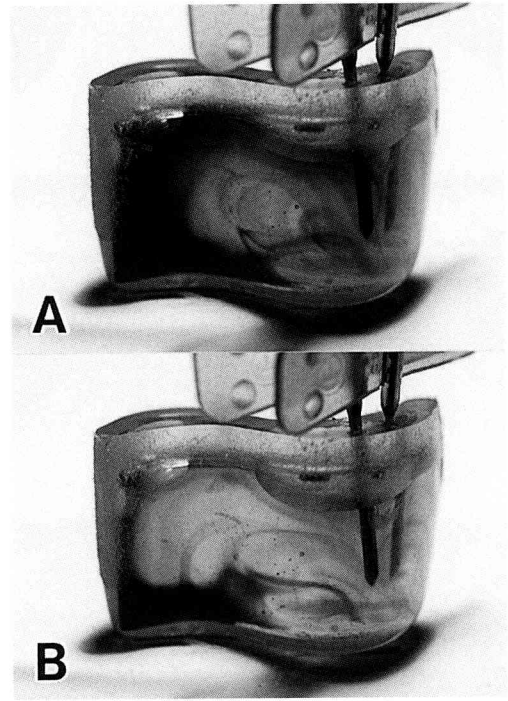


Fig. 9. In arthrocentesis, in which an 18 gauge outflow needle was inserted in the posterior compartment and irrigation was performed at an influent speed of 400 ml/h.

A : After irrigating with 20ml distilled water. Complicated rotary motion was observed in the posterior compartment.

B : After irrigating with 40ml distilled water. Rotary motion ranging from the posterior to anterior compartment was observed, and indigo carmine solution was diluted according to the increase in the amount of irrigation fluid. However, a high concentration of indigo carmine solution was observed in the inferior area of the anterior compartment.

水がインジゴカルミン溶液を前方に押しやるような流れが生じる。前方腔にアウトフロー針を穿刺した場合は、前方腔に押しやられたインジゴカルミン溶液をアウトフロー針が吸引する形で洗浄が進んだ (Fig. 6, 7)。21Gのアウトフロー針を用いた場合は、針の周辺部近くのみで渦流が生じたが、18G針の場合は渦流の範囲が広がった。その結果、21G針の20ml洗浄後には、後方腔の底部と前方腔の下方に局限する高濃度のインジゴカルミン溶液がみられた (Fig. 6A)。

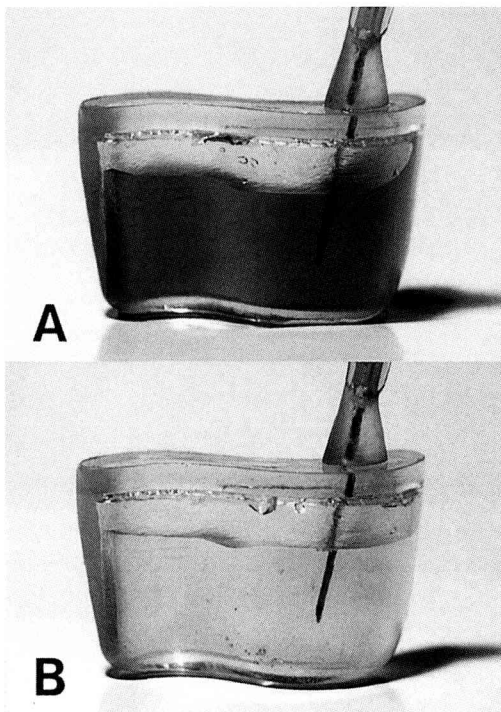


Fig. 10. In pumping lavage system, in which irrigation was performed setting the needle tip to the area 5 mm above the floor of the model.

A : After irrigating with 20ml distilled water.

B : After irrigating with 40ml distilled water.

Indigo carmine solution in the model was homogeneously diluted.

40ml洗浄後には、アウトフロー針の前方および下方にインジゴカルミン溶液の停滞が一部みられたが、後方腔は無色透明となった(Fig. 6B)。18G針を用いた20ml洗浄後には、複雑な水流が後方腔にもみられ、前方腔にはアウトフロー針先端を中心に回転する流れがみられた(Fig. 7A)。40ml後には、後方腔は無色透明となったが、前方腔の最前方および下方にインジゴカルミン溶液がみられた(Fig. 7B)。後方腔にインフロー針と近接して21Gアウトフロー針を穿刺した場合は、インフロー針から流入する蒸留水が回転しながら後方腔に向かって流れるとともに、アウトフロー針によって溶液が吸引される流れが起き、全体として溶液を混合する複雑な流れが

生じた。20mlおよび40ml洗浄後の所見では、後方腔の渦流により洗浄量の増加とともにインジゴカルミン溶液は希釈されたが、前方腔の最前方および下方には高濃度のインジゴカルミン溶液の停滞がみられた(Fig. 8A, B)。後方腔に18Gアウトフロー針を穿刺した場合は21G針と比較して、前方腔に及ぶ大きな渦流が生じ、比較的高い濃度のインジゴカルミン溶液が後方腔のアウトフロー針から排出される傾向がみられた(Fig. 9A, B)。

一方、PLS法は、蒸留水を注入した直後の状態を撮影した。PLS法は、20mlおよび40ml洗浄後ともに蒸留水が流入するとモデル内が瞬時に攪拌され、視覚的にほぼ均一となった(Fig. 10A, B)。

考 察

滑液中には、化学的炎症起因物質や neuropeptide が存在し、神経終末を刺激し痛みを引き起こすと考えられている。Quinnら¹¹⁾の報告によれば、顎関節内障患者の滑液と顎関節鏡視下所見での滑膜炎の程度とを比較した結果、発痛補助物質である prostaglandin E₂ および leukotriene B₄ の濃度と滑膜炎とは関連性があったとしている。顎関節腔洗浄における臨床効果の発現機序として、滑液中に含まれる発痛物質の排出²⁾、粘稠化した滑液の排出¹⁾などが推測されている。

AC法の洗浄量は100~500ml^{1-5,8,9)}で、症例間や施設間によって異なり、洗浄針の穿刺部位は、インフロー針を後方滑膜間腔に穿刺し、アウトフロー針は前方滑膜間腔に穿刺する場合^{1,3,4)}と関節結節後斜面に穿刺する場合⁶⁾などがあり統一されていない。一方、PLS法の臨床での洗浄量は、原則的に200mlであるが、下顎頭にある程度の滑走がある場合、顎関節痛が軽度な場合、顎関節腔に伸縮性がある場合、吸引回収液に濁りが無い場合などは100mlである⁷⁾。

上顎関節腔洗浄中の顎関節腔形態は、関節面間隙で狭窄し前方滑膜間腔と後方滑膜間腔に分かれるため、洗浄針の穿刺部位の違いにより、

上顎関節腔内の洗浄能力に差が生じることも考えられる。本研究では、AC法とPLS法の洗浄能力の違いをシミュレーションするため、モデル内にインジゴカルミン溶液を注入し、洗浄後に回収した排出液および残留液を試料とし、試料中のインジゴカルミン溶液のS量を定量することによって、両洗浄法における洗浄能力について比較検討を行った。さらに、洗浄中のモデルを観察し、両洗浄法におけるインジゴカルミン溶液の希釈または流動状態を視覚的に評価した。

1. 造影 X 線画像の計測

矢状断方向の X 線画像の計測点の設定は、骨外耳道の最上縁点および造影剤による陰影像と顎関節組織の境界が明瞭に描出された部位とし、矢状断方向の上顎関節腔形態の再現に最低限必要と思われる点を任意に設定した。この基準点間の距離を計測することで、矢状断方向の上顎関節腔固有の形態を可及的に近似させ再現することが可能であった。

造影 X 線画像の計測結果では、上顎関節腔の後方辺縁部にあたる G-G'、G'-G'' と前方辺縁部にあたる C-C'、C'-C'' 間の距離に大きなばらつきを生じた。その理由として、これらの部位には造影剤が流入しない例と流入した例があったため、これは顎関節腔内癒着の有無によって生じた可能性が推察された。

2. 洗浄法による洗浄能力と洗浄機構

残留液中の S 量をもとに洗浄能力を比較すると、AC法では、同一条件のもとで流入速度を速めると洗浄能力が上昇する傾向がみられた。また、アウトフロー針の穿刺部位を前方腔に穿刺した場合と後方腔に穿刺した場合とでは、前方腔に穿刺した方が有意に洗浄能力が高かった ($p < 0.05$)。さらに、インフロー針より太い径のアウトフロー針を用いた場合、同一径のものを用いた場合より洗浄能力が高くなる傾向があった。

臨床での AC 法は、点滴台の高さを調節し洗浄する方法^{1-3,5,6)}と輸液ボトルを機械的に加圧し洗浄する方法^{4,9)}などがあり、流入速度は前者

が約400~900ml/h⁹⁾、後者が約400~1,500ml/h^{4,9)}となる。本研究では、臨床で最も遅い流入速度(400ml/h)とその2倍の流入速度(800ml/h)を設定し、それぞれの洗浄能力を比較した。上記の通り、流入速度を400ml/hから800ml/hに大きくすることで、残留液中のS量は減少した。しかし、その変化はアウトフロー針を前方腔に穿刺した場合にみられ、後方腔に21Gのアウトフロー針を穿刺した場合には、流入速度による変化が小さかった。モデル内の観察では、後方腔に21Gのアウトフロー針を穿刺した場合は、インフロー針から流入した蒸留水が針の周囲を回転しながら後方腔に戻る流れが生じ、後方腔のアウトフロー針からは低い濃度の溶液が吸引され、前方腔に滞留する濃度の高いインジゴカルミン溶液は比較的緩徐に希釈される。このため、流入速度を速めると後方腔の針の周囲で回転する水流の速度が増すが、前方腔は、渦の原点であるアウトフロー針の先端から距離があるため、流入速度の増大による希釈速度への影響は少なくなると考えられる(ポテンシャル流)。

アウトフロー針の穿刺部位による洗浄能力は、前方腔に穿刺した方が有意に洗浄能力が高かった ($p < 0.05$)。モデル内の観察の結果、前方腔にアウトフロー針を穿刺した場合には、インフロー針から流入した蒸留水によって、モデル内のインジゴカルミン溶液が前方に押しやられ、前方腔のアウトフロー針から高い濃度の溶液が吸引される。一方、後方腔にインフロー針と近接してアウトフロー針を穿刺した場合は、インフロー針から流入した蒸留水が針の周囲を回転しながら後方腔に戻る流れが生じ、高い濃度のインジゴカルミン溶液が前方腔に停滞するので、後方腔のアウトフロー針からは低い濃度のインジゴカルミン溶液が吸引される。このことが洗浄能力の差を生じたと考えられる。また、前方腔にアウトフロー針を穿刺した場合の排出液と残留液中のS量に差はなかったが ($p > 0.05$)、洗浄過程の様相から、モデル内のインジゴカルミン溶液の希釈程度とアウトフロー針

に吸引される溶液に濃度差が生じる可能性が推察された。一方、後方腔にアウトフロー針を穿刺した場合には、排出液中のS量が残留液より減少する傾向があり、インフロー針と同径のアウトフロー針を後方腔に穿刺し、速い流入速度で洗浄した場合には、排出液中のS量は残留液より有意に少なかった ($p < 0.05$)。

臨床でAC法に用いるインフロー針は、18G^{4,7)}、19G¹⁾、20G⁸⁾、21G^{3,5,9)}であり、アウトフロー針は18G^{2-5,7,9)}、19G¹⁾、20G⁸⁾である。本実験では、インフロー針は21G針とし、アウトフロー針に径の異なる18G針と21G針を用いて、針の径の違いによる洗浄能力の差を検討した。アウトフロー針の径の違いによる洗浄能力の差は、後方腔に穿刺した場合には認められたが、前方腔に穿刺した場合には認められなかった。アウトフロー針を後方腔に穿刺し流入速度を800ml/hで洗浄した場合は、径の太いアウトフロー針を用いた場合の方が径の細いアウトフロー針よりも明らかに残留液中のS量が少なかった ($p < 0.05$)。すなわち洗浄能力が高かった。モデルの観察では、後方腔にアウトフロー針を穿刺した場合、インフロー針と同径のアウトフロー針では、流入した蒸留水によるインフロー針周囲の希釈と、アウトフロー針へのインジゴカルミン溶液の吸引が進みながら希釈範囲が拡大してゆく洗浄様式を示す。一方、インフロー針より太い径のアウトフロー針では、局所的な希釈に加えて全体的な攪拌が進み、より均一となった溶液がアウトフロー針に吸引される洗浄様式となった。このことが径の違いによる洗浄能力に差を生じた理由として考えられた。

以上のAC法と比較してPLS法は高い洗浄能力をもつことが認められた。すなわち、針先の固定位置によらず、AC法で前方腔にアウトフロー針を穿刺し、800ml/hの流入速度で洗浄した場合に次ぐ高い洗浄能力を有していた。さらに、PLS法は、吸引回収液と残留液中のS量に差がなく、モデル内のインジゴカルミン溶液の希釈程度が排出液に反映される方法であった。このことは、視覚的な所見で、モデル内で

ほぼ均一に希釈された溶液が回収されたことから裏付けられた。ところでPLS法の洗浄能力は、1回毎に吸引される顎関節腔内の溶液量(吸引回収量)によって決まると考えられる。臨床でのPLS法は、症例間で吸引回収量に差があることが多く、吸引回収率にしてその平均は約80%¹²⁾であるが、容積が小さく弾性に乏しい顎関節腔の場合には回収が困難となる¹³⁾。このことを考慮して、本実験では、針先の位置をモデルの底面から5mmと7mmに固定し、吸引回収量の差と洗浄能力との関係を調べた。その結果、5mmと7mmの固定位置の吸引回収率は、それぞれ70%と60%であった。この10%の吸引回収率の差は、洗浄能力に影響を与えなかった。

臨床でのAC法やPLS法は、洗浄後にステロイド薬^{1,3-5,9)}やヒアルロン酸ナトリウム製剤^{2,9)}が注入され洗浄と薬剤の効果が相俟って治療成績が向上していると思われるが、洗浄のみでも比較的高い治療成績が得られると考えられている。顎関節腔洗浄のみを行った例は、洗浄後にステロイド薬を注入した例と比較して、短時間で顎関節痛が改善されにくい傾向はあるが、両者の顎関節痛と開口域の改善率には有意差はみられない ($p > 0.05$)¹⁰⁾。これらのことから、顎関節腔を洗浄することが顎関節症症状の改善に重要であると思われる。また、少ない洗浄量で効率よく洗浄を行うことは治療時間の短縮につながり、患者の身体的および精神的負担が軽減される。今回、両洗浄方法における顎関節腔内の洗浄能力をモデルを用いて定量的に評価し、それぞれ洗浄機構について流体力学的に行った結果、洗浄処置の具体的な条件が明らかになった。このことは臨床的にも重要な意味があると思われた。

結 論

1. 顎関節症患者の造影X線画像では、上顎関節腔の後方辺縁部にあたる基準点間G-G'、G'-G''と前方辺縁部にあたるC-C'、C'-C''の距離に大きなばらつきがあった。
2. 上顎関節腔モデルの素材を透明樹脂とし

たことで、モデル内のインジゴカルミン溶液の流動状態の観察が可能となった。

3. 洗浄能力は、AC法で前方腔にアウトフロー針を穿刺し、速い流速で洗浄した場合とPLS法が高かった。

4. AC法は、流入速度をを2倍にすることで残留液中のS量が約1/2～1/4に低下した。

5. AC法で前方腔にアウトフロー針を穿刺した方が後方腔に穿刺した場合より残留液中のS量は少なかった ($p > 0.05$)。

6. AC法は、アウトフロー針がインフロー針より太い場合に、残留液中のS量が少ない傾向があった。

7. AC法で後方腔にアウトフロー針を穿刺した場合には、排出液より残留液中のS量が多くなる傾向があった。

8. PLS法で吸引回収率の差が10%の場合には、残留液中のS量に差はなく ($p > 0.05$)。また、排出液と残留液中のS量に差はなかった ($p > 0.05$)。

9. 洗浄過程の視覚的な所見では、AC法は、アウトフロー針の穿刺部位の違いが洗浄様式に大きく影響し、PLS法は、ほぼ均一に希釈された溶液を回収する形で洗浄が進んだ。

謝辞：稿を終えるにあたり、終始ご懇篤な指導と校閲を賜りました恩師関山三郎教授に深甚なる謝意を表します。また、御校閲を頂いた本学歯科理工学講座荒木吉馬教授、ならびに本学歯科予診室戸塚盛雄教授に深謝致します。本研究の遂行に際し、ご協力いただきました口腔外科学第二講座医局員各位に深く御礼申し上げます。

本論文の要旨の一部は、第45回日本口腔外科学会総会(2000年10月、千葉)において発表した。

引用文献

- 1) Nitzan, D. W., Dolwick, M. F., Martinze, G. A. : Temporomandibular joint arthrocentesis : A simplified treatment for severe, limited mouth opening. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 49 : 1163-1167, 1991.
- 2) 濱田 傑, 浜口裕弘, 小倉孝文, 杉原正章, 松矢篤三, 山上紘志 : 顎関節内障クローズドロック症例に対する関節洗浄マニピュレーション法の効果, 日口外誌, 39 : 284-286, 1993.
- 3) 保坂榮勇, 瀬上夏樹, 堀 信介, 森家祥行, 村上賢一郎, 飯塚忠彦 : クローズドロック症例に対する上関節腔洗浄療法 (arthrocentesis) の臨床効果に関する検討, 日口外誌, 40 : 454-457, 1994.
- 4) 由良晋也, 戸塚靖則, 樋田京子, 門脇 繁, 小林隆, 津山昌嗣, 山口泰彦, 井上農夫男, 原田浩之, 大類 晋, 畔田 貢 : 関節洗浄マニピュレーション法の治療成績の検討, 日口外誌, 40 : 519-524, 1994.
- 5) 高木律男, 松下 健, 中山勝憲, 小林龍彰, 柴田寿信, 大橋 靖, 近藤寿郎 : 顎関節症に対する関節腔内洗浄療法の検討—極細径関節鏡による上関節腔後部所見と予後との関連性—. *日顎誌* 7 : 40-50, 1995.
- 6) Nitzan, D. W., Samson, B., Better, H. : Long-term outcome of arthrocentesis for sudden-onset, persistent, severe closed lock of the temporomandibular joint. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 55 : 151-157, 1997.
- 7) Zardeneta, G., Milam, S. B., Schmitz, J. P. : Elution of proteins by continuous temporomandibular joint arthrocentesis. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 55 : 709-716, 1997.
- 8) Emshoff, R., Rudisch, A., Bosch, R., Gassner, R. : Effect of arthrocentesis and hydraulic distension on the temporomandibular joint disk position. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology.* 89 : 271-277, 2000.
- 9) 大平明範, 村田尚子, 関山三郎 : 顎関節症に対する上関節腔パンピング洗浄システムの考案と臨床応用, 日顎誌, 13 : 51-56, 2001.
- 10) 世良耕一郎 : PIXE法の医学・生物学試料への応用, *Biomed Res Trance Elements.* 3 : 93-94, 1992.
- 11) Quinn, J. H. and Bazan, N. G. : Identification of prostaglandin E_2 and leukotriene B_4 in the synovial fluid of painful, dysfunctional temporomandibular joint. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 48 : 968-971, 1990.
- 12) 大西正俊 : 顎関節腔内穿刺法とその応用に関する臨床的研究, 口病誌, 37 : 14-43, 1970.
- 13) 大平明範, 村田尚子, 星 秀樹, 杉山芳樹, 関山三郎 : 関節鏡視下剥離授動術が奏功した陳旧性顎関節頭骨折の1例, 日口外誌, 46 : 802-804, 2000.
- 14) 豊田長隆, 浅田洗一, 荒井智彦, 徳富威彦, 志賀

貴之, 斉藤 高, 石橋克禮: 顎関節痛を有する顎関節症に対する関節腔洗浄療法の治療効果 第1報: 関節腔洗浄単独例とステロイド剤併用例との比較検討, 日顎誌, 3: 507-514, 1998.