

# ダイビングによる顎関節症の予防と安全対策 —テーラーメイドマウスピースの開発とその実用化—

東京医科歯科大学大学院 上野 俊明  
(共同研究者) 同 藤野 祥子  
同 安部 圭祐

## **Prevention and Safety Measure for Diving-Related Temporomandibular Disorders; Development of Custom-made Diving Mouthpiece and its Practical Application**

by

Toshiaki Ueno, Sachiko Fujino, Keisuke Abe  
*Department of Sports Medicine/Dentistry,  
Graduate School of Medical and Dental Sciences,  
Tokyo Medical and Dental University*

### ABSTRACT

The authors newly developed custom-made regulator mouthpiece for a scuba diver using thermoforming technique to relieve and/or prevent diving-related temporomandibular disorders. And we have already confirmed that in vitro study the adhesion behavior of laminated thermoforming materials maintained for 4 weeks (672 hours) even under the 0.2-MPa pressured water environment corresponding to about 20 meters of the sea. The purpose of the present study was to assess the effectiveness of custom-made diving mouthpiece in actual undersea environment. Six collegiate divers (1 male and 5 female, mean age; 22.8 yrs), who had diving-related temporomandibular disorders or often felt jaw-muscles soreness and fatigue during scuba diving, participated in clinical trials. Changes in pain of temporomandibular joints, jaw-muscles fatigue and occlusal stability in association with the usage of new

custom-made diving mouthpiece were measured on 11-point (0-10) numerical rating scale. As compared with old commercial diving mouthpiece, the custom-made diving mouthpiece significantly improved wearability, pain of temporomandibular joints, jaw-muscles fatigue and occlusal stability by 5.0, 5.7, 6.1 and 4.7 point, respectively ( $p < 0.05$ ). No significant changes were found in breathing difficulty, nausea and bad taste and smell. These results strongly suggested that custom-made diving mouthpiece may contribute to relieve and/or prevent diving-related temporomandibular disorders

## 要 旨

本分野では、われわれはダイビングによる歯科領域の潜水障害（顎関節症）を予防することを目的に、正しい下顎位を保持し、顎関節の変位を起こさず、顎筋や顎関節に無理な負担をかけない、ダイビング用テラーメイドマウスピースの開発を手がけ、すでに加圧水中環境下での物性および耐久試験を実施し、十分な基本性能を有していることを確認した。そこで、今回、顎関節症を有するダイビング部所属の大学生6名（平均22.8歳）を対象に、実用環境下での臨床試験を行い、10段階評価法による分析を加えて、このテラーメイドマウスピースの有用性を検討した。その結果、テラーメイドマウスピース使用時の顎関節疼痛および顎筋疲労感は、既製マウスピース使用時に比べて、有意に減少した。またフィット感と咬合安定感も有意に良好であった。以上より、テラーメイドマウスピースにはダイビングに関連した顎関節症を軽減・予防する効果があることが示唆された。

## 緒 言

我が国のスキューバダイビング人口は約30から50万人とも言われ、その年齢層は幅広い。ダイビングを行うことにより、肺、耳、副鼻腔、歯などの含気組織器官に特有の障害（潜水障害）<sup>1,2)</sup>を経験することは少なくないが、近年歯科界

でもダイビングに由来する顎の障害（顎関節症）とその対応に関心が寄せられている<sup>3,4)</sup>。なお海外<sup>5-7)</sup>では、diver's mouth syndromeとも呼称されている。

ダイビングに伴う顎関節症の発症率は24%～68%であり<sup>8-10)</sup>、男性より女性に発症しやすく<sup>3,8,9)</sup>、海水温も低く冷たいほうが発症しやすい<sup>9)</sup>と報告されている。この障害の発生機序として、ダイビング用既製マウスピース（MP）の規格（形態）不良による下顎の前方誘導ならびに顎関節の変位<sup>11,12)</sup>、MPを定位に保持するために随伴するクレンチング（噛みしめ、くいしばり）による顎筋や顎関節への過剰負荷<sup>8)</sup>、あるいはそれらの相互作用、等が指摘されている。また顎関節症には耳閉や耳痛症状がしばしば随伴することから、こうした顎関節症が耳の潜水障害を誘引・悪化する可能性も考えられる。

以上の背景に基づき、ダイビングによる歯科領域の潜水障害（顎関節症）を予防し、安心・安全な潜水のために、歯科界から貢献寄与することを目的として、正しい下顎位を保持し、顎関節の変位を起こさず、顎筋や顎関節に無理な負担をかけないテラーメイドMPの開発を試みた<sup>13)</sup>。現在までに専用MPの開発に成功し、実用化に向け加圧水中環境下での物性および耐久試験を実施し、十分な基本性能を有していることを確認した<sup>14)</sup>。そこで本研究では、上記成果を踏まえて、実際のダイビング環境下での臨床

試験を実施し、顎関節症に対するテーラーメイドMPの有用性を検証した。

## 1. 方法

### 1.1 アンケート調査

歯科系大学2校のスキューバダイビング部所属の学生およびOB・OG32名を対象に、アンケート調査を実施した。自記式調査票を郵送あるいはメール形式で送付し、回答を求めた。調査項目はダイビング歴、年間ダイビング数、総ダイビング数、潜水障害の既往、使用MPの不満点、MPの交換頻度、MPの保持法、顎関節症の有無、等についてである。

### 1.2 臨床試験

#### 1.2.1 被験者

アンケート調査協力者の中から、顎関節症を有する学生もしくは顎筋の疲労感をしばしば経験する学生6名（男性1名、女性5名、平均22.8歳、ダイビング歴；平均4.6年、年間ダイビング数；平均39.2本、総ダイビング数；平均194.7本）の協力を得た（表1）。いずれの被験者もダイビングを行う上で支障となる外傷や障害はなかった。なお本研究のプロトコールは東京医科歯科大学歯学部倫理審査委員会の承認（540号）を得ており、被験者には本研究の主旨を説明し、書面にて同意を得た。

#### 1.2.2 テーラーメイドMPの製作法

テーラーメイドMPはMatsuiら<sup>13)</sup>が考案したサーモフォーミングテクニックにて製作した。

#### (1) 印象採得および咬合採得

歯科用既製トレーとアルギン酸印象材（アローマファインDFⅢ、GC社）を用いて、各被験者の上・下顎印象採得を行った。またシリコン咬合採得材（コレクトプラスバイト、Pentron Japan社）を用いて、咬合嵌合位での咬合採得を行った。

#### (2) 作業模型製作

上・下顎印象内に、硬石膏（ニュープラストーン、GC社）を注入し、作業模型を作製し、完全硬化後、辺縁部を適宜トリミングした。

#### (3) コネクター部のカスタマイズ

各被験者の既製MPを一時借用し、コネクター内部に硬石膏を注入し、石膏コアを採得した。加熱吸引成形器（Proformer, Proform社）を用いて、この石膏コア上に、マウスガード用ポリオレフィン系熱可塑性弾性樹脂（MG21・ソフト・2mm厚、CGK社）を加熱成形し、各被験者のレギュレータ形状に合ったコネクター部をカスタマイズした。

#### (4) MP本体部のカスタマイズ

対合歯圧跡付与器（Occluform-3, Erkodent社）付き改良型加熱吸引成形器（Erkoform-3D, Erkodent社）を用いて、上顎作業模型上に熱可塑性弾性樹脂（MG21・ソフト・3mm厚、CGK社）を加熱成形し、同時に咬合面の印記を行った。咬合挙上量は下顎安静位を目安として、第一大臼歯部で1.5mm前後の挙上位とした。冷却後、形態修正を行い、(3)で製作したコネクター部を加熱溶着した。

#### (5) フリンジ部のカスタマイズ

下顎フリンジ形態をカスタマイズするために、

表1 テーラーメイドMPの臨床試験に参加した被験者6名の性別、年齢および顎関節症

被験者	性別	年齢	顎筋疲労感	顎関節疼痛	顎関節雑音	顎運動障害
A	F	23	+	-	+	-
B	F	19	-	+	+	+
C	F	20	-	-	+	-
D	F	22	+	-	-	-
E	M	27	+	-	-	-
F	F	26	+	+	+	-

(4) で製作したコネクタ部付き MP 本体部を各被験者の口腔内に試適した状態で、口腔前庭部にシリコン印象材（エグザファイン・パテタイプ、GC 社）を適量挿入し、筋圧形成および機能運動を行わせ、シリコンコアを採得した。

(6) コネクタ部付き MP 本体部のラミネーション加工

加熱吸引成形器（Proformer, Proform 社）上に、上・下顎作業模型、コネクタ部付き MP 本体部、および (5) で採得したフリンジ部カスタマイズ用のシリコンコアを一塊縦置きにして、もう一枚のマウスガード用熱可塑性弾性樹脂（MG21・ソフト・3mm厚、CGK 社）を積層補強した（図 1）。



図1 テーラーメイドMPのサーモフォーミング加工風景

(7) 形態修正・最終仕上げ

完全冷却後、石膏模型からテーラーメイドマウスピースを撤去し、コネクタ内部の石膏を割り出し、最終の形態修正および研磨を行い、完成とした。なお、マウスピースの外形は、上顎唇頬側は浅め（歯肉頬移行部より約 5mm 短い位置）に設定し、口蓋側は歯頸線に一致させ、後縁被覆は第二大臼歯までとした（図 2）。

### 1.2.3 試験方法

試験に先立ち、完成したテーラーメイド MP は各被験者の口腔内に試適し、適宜調整を施した上で、取扱い上の注意事項を説明して、供与した。被験者 6 名に提供したテーラーメイド MP の平均咬合挙上量は、前歯部で 2.5mm、第一大

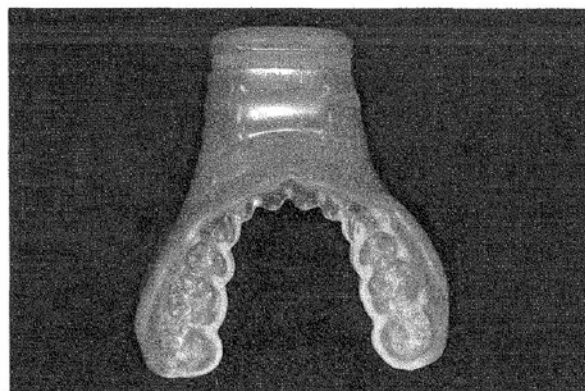


図2 テーラーメイドMPの完成品

臼歯部で 1.8mm であった。また被験者の意見を参考に、換気効率を考慮して、上顎前歯の切縁から口蓋側を被覆するシート材を削除し、開放した。臨床試験は、2010 年 8 月から 10 月にかけて、静岡県近郊の海中にて行われた。各被験者には、テーラーメイド MP を複数回以上使用してもらい、後日アンケート調査を行い、新旧 MP のフィット感、顎関節症（顎関節疼痛）、顎筋の疲労感、咬合の安定感、呼吸、嘔吐感、味・臭い、等について、10 段階評価してもらった。

### 1.2.4 統計学的検定

統計学的検定には、対応のある t 検定を用い、有意水準は 0.05 とした。

## 2. 結果

### 2.1 アンケート調査について

32 名中 22 名（男性 12 名、女性 10 名）から有効回答が得られた（回答率 68.8%）。潜水障害の既往を有する者は 7 名（31.8%）であった（図 3）。

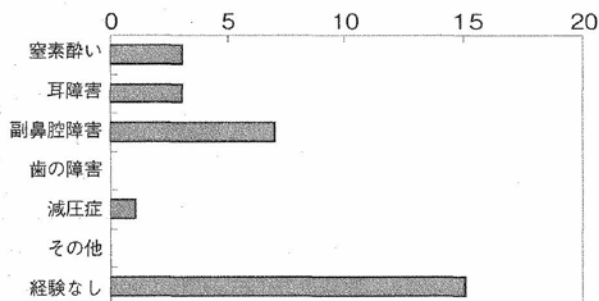


図3 スキューバダイビング部所属大学生 22 名（男性 12 名、女性 10 名）における潜水障害の既往歴の有無（複数回答あり）

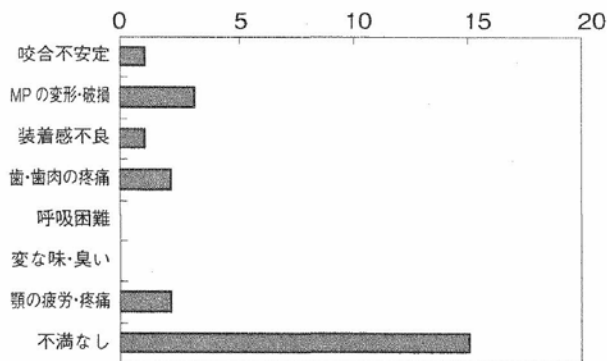


図4 スキューバダイビング部所属大学生22名（男性12名，女性10名）における既製MPに対する不満事項・問題点の有無（複数回答あり）

使用MPは全員既製品であり，そのMPに不満や問題を抱えている者は7名(31.8%)であった(図4)．MPを定期的に交換している者は1名(11-20本に1度の割合，ダイビング経験年数8年)のみであり，劣化・破損等により1ないし2度交換したことがある者が8名(36.3%，経験年数4.4年)，未だ取り替えたことがない者が13名(59.1%，経験年数4.2年)であった．ダイビング中に顎関節および顎筋に症状を感じる者は11名(50.0%)であり(図5)，うち日常生活でも同様症状が続く者は7名(31.8%)であった．ダイビング中のMPの保持法については，専ら咬合力に頼っている者と咬合力と口唇圧を併用している者を併せると18名(81.8%)の多数を占めた(図6)．

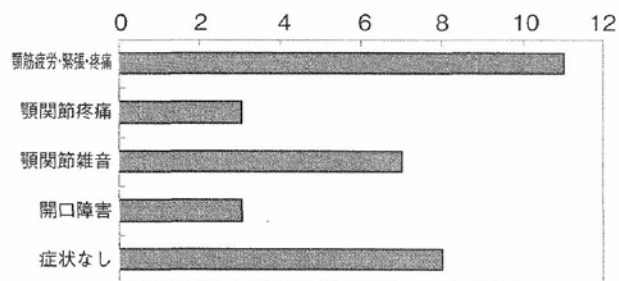


図5 スキューバダイビング部所属大学生22名（男性12名，女性10名）におけるダイビング時の顎関節症および顎筋症状の有無（複数回答あり）

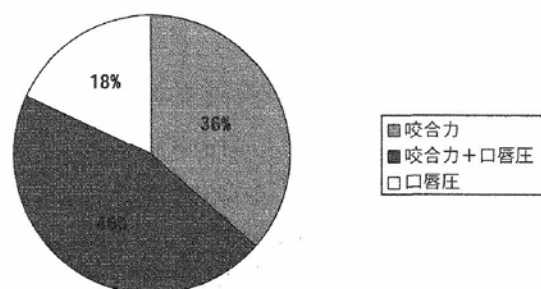


図6 スキューバダイビング部所属大学生22名（男性12名，女性10名）の既製MPの保持法

## 2.2 臨床試験について

テーラーメイドMPの臨床試験に関する結果を図7に示す．今回のテーラーメイドMPを用いて実際に潜ったダイビング数は平均5.3本であった．フィット感，顎関節症（疼痛），顎筋の疲労感および咬合の安定感に関して，いずれも既製マウスピースよりテーラーメイドMPのほ

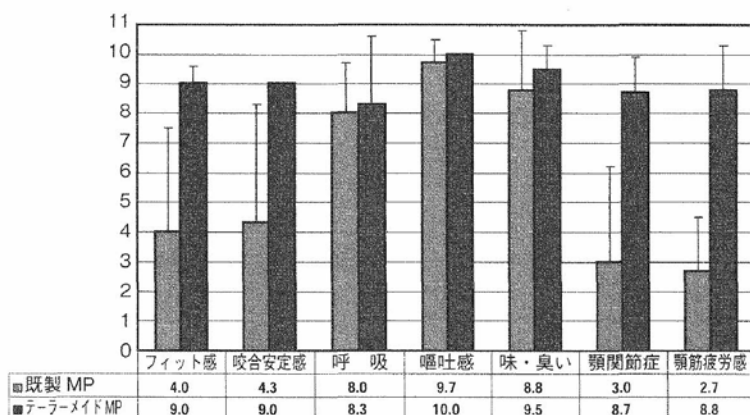


図7 顎関節症を有する大学生ダイバー6名（男性1名，女性5名）におけるテーラーメイドMP臨床試験後の評価分析結果（0：最悪，10：最良）

データは平均値，エラーバーは標準偏差を表す．フィット感，咬合安定感，顎関節症および顎筋疲労感の4項目について，統計学的有意差が認められた（対応のあるt-検定， $p < 0.05$ ）．

うが高い評点を得られ、いずれも統計学的有意差を認めた ( $p < 0.05$ )。呼吸のしやすさ、嘔吐感ならびに味・臭いに関しては、評点に有意な変化はなかった。

### 3. 考察

#### 3.1 サーモフォーミング製法を応用した テーラーメイドMPについて

テーラーメイドMPの製作法に関しては、これまでもロストワックス製法<sup>6,15)</sup>や義歯用軟質裏装材を用いて既製MPの形態修正を図る方法<sup>16)</sup>等が報告されていた。とりわけロストワックス製法は、技工が煩雑で長時間を要するため、普及しなかったようである。そうした中、Matsuiら<sup>13)</sup>は、スポーツマウスガードの製作テクニックとして急速に普及してきたサーモフォーミング製法を応用することを着想した。このサーモフォーミング製法によれば、コネクター部、マウスピース本体部ならびに補強積層用と、マウスガード用熱可塑性樹脂を計3枚使用し、サーモフォーミングを3回行うことで、比較的容易に製作できるものである。

このサーモフォーミング製法を応用したテーラーメイドMPの加圧水中環境下での物性の挙動および接着耐久性については、Iharaら<sup>14)</sup>が試験している。その結果、マウスガード用熱可塑性弾性樹脂として代表的なポリオレフィン(PO)系および酢酸ビニル共重合体(EVA)系の2種シート材によるMP試料片のいずれも、0.2気圧(水深20m相当)の加圧水中保管1ヶ月後であっても、吸水膨張は殆ど認められず、機械的性質も顕著に低下しないことが確認されている。また常温大気中保管時の80%以上に相当する接着強度を保持していた。計算上は、愛好家レベルのダイバーが水深20mレベルの潜水を1日2時間、年40回楽しんだとしても、8.4年もの接着耐久性を有していることになる。したがって、十分な被着面

積を確保し、適切に積層加圧成形されたテーラーメイドMPであれば、水中環境下で相応の耐久性と安全性を有することが示唆された。

#### 3.2 テーラーメイドMPの顎関節症予防効果について

本研究結果より、テーラーメイドMPの使用により、ダイビング中の顎関節疼痛や顎筋疲労感の軽減・予防に有効であることが確認された。そもそも既製MPの場合、プラットフォーム部分が非常に小さく、咬合支持は犬歯および臼歯部のみに負担が強られるため、咬合位が不安定になりやすい<sup>4,11,12)</sup>。故に、それを噛んで保持していると、顎関節や顎筋に無理な負荷が生じる。またオクルーザルラグやラビアルフレンジが下顎を前方に誘導する<sup>4)</sup>ことも知られており、顎関節や顎筋への負荷はさらに複雑なものとなる。これらが相まって顎関節症の発症あるいは悪化に繋がって行くものと考えられる。したがって、テーラーメイドMPの奏功機序に関しては、プラットフォーム部を臼歯部まで延長し、咬合支持域を広く確保したことによって、咬合位の安定化ならびに顎関節の変位・過剰負荷の防止が図られたことによるものと考察される<sup>17,18)</sup>。上顎第一大臼歯は咬合の鍵(key to occlusion)<sup>19)</sup>と呼ばれ、正常咬合を有するヒトの歯列弓全体としての咬合重心は左右側の第一大臼歯部を結ぶ線上に通常位置する<sup>20)</sup>とされることから、プラットフォーム部の臼歯部までの延長拡大は咬合・歯列・顎関節の安定化に貢献寄与することが示唆される。なお廣瀬らの調査結果<sup>21)</sup>によれば、上級者より初級者のほうが、MPをより強く噛んで保持する傾向があることから、とりわけ初級者に対して、プラットフォーム部を臼歯部まで拡大したテーラーメイドMPの適用が効果的であると推察している。



### 3.3 今後の課題について

#### 3.3.1 咬合挙上量の設定

咬合挙上量の設定とは、顎関節症の軽減・予防に効果的で、かつ換気効率にも支障を来たさないプラットフォーム部の厚みはどの程度に設定すればよいかという問題である。本研究でのテーラーメイドMPの咬合挙上量は、主たる目的である顎関節症の軽減・予防の観点から、顎関節に過剰な負荷を与えないよう下顎安静位を目安に設定し、被験者の意見を参考に、上顎前歯部切縁から口蓋側にかけて被覆するシート材を削除し、開放する工夫を施した。その結果、最終的な咬合挙上量は前歯部で平均2.5mm、第一大臼歯部で平均1.8mmとなった。この咬合挙上量の設定であっても、既製MPに比べて、息苦しさを訴えたものはおらず、10段階評価結果でも統計学的有意差は生じなかったことから、臨床上、下顎安静位を基準として設定する方法に無理はないと考えられた。

しかし、ダイビング用MPの咬合挙上量と換気効率を検索したHobsonの研究<sup>22)</sup>によれば、MPなしでの最大換気量を100%として、プラットフォーム部を削除したオーラルスクリーン部のみの既製MPをくわえた状態でのそれは68.6%に低下した。一方、プラットフォーム部の厚みを1mm, 2mm, 3mm, 4mm, 5mmと実験的に設定したテーラーメイドMPの場合には、それぞれ86.4%, 89.4%, 92.8%, 95.8%, 91.5%の相対換気量であったことから、最大換気量の観点から考えて、プラットフォーム部の厚みは4mmに設定することがよいと示唆している。またピークフローメータを用いて各種MPの呼吸抵抗を検索した廣瀬らの報告<sup>16)</sup>でも、咬合挙上量0mmから4mmまでは徐々に呼吸抵抗が減少するものの、それ以上6mmまで増加させても有意な変化はなかったことから、プラットフォーム部の厚みは4mm前後が適当としている。ただ、これら

はいずれも室内における基礎的実験結果であり、加えて顎関節等への影響は全く研究されていないことから、更なる検討を加える必要があるものと思われる。

#### 3.3.2 テーラーメイドMPの実用耐久性

テーラーメイドMPの実用耐久性に関して、少なくとも本臨床試験の期間内での破損事故は一切認められなかった。ただ本アンケート調査結果からも明らかのように、MPを定位に保持するために、多くのダイバーが咬合力や口唇圧を利用する。したがって、長期間の使用を考えると、咬合力や口唇圧の反復負荷がMPの劣化や破損を惹起・助長させる一因となる可能性がある。ダイビング愛好家の年齢層は幅広く、男女の性別も問わない。当然体格も人それぞれである。故に、咬合力や口唇圧も様々である。したがって、テーラーメイドMPの実用化と普及に向けて、また交換頻度の指針や安全基準を検討する上で、今後、試験症例の追跡調査を実施し、臨床データを蓄積し、事例分析を加える必要があると思われる。

## 4. 結論

ダイビングに伴う顎関節症の軽減・予防を目的として開発したテーラーメイドMPの有用性を検証する目的で、顎関節症を有するダイビング部所属の大学生6名を対象として、実際のダイビング環境下での臨床試験を実施し、10段階評価法による分析検討を加えた。その結果、既製MPに比較して、顎関節症（疼痛）および顎筋疲労感は有意に低下することが確認された。したがって、ダイビングに伴う顎関節症の軽減・予防を図る上では、既製MPよりテーラーメイドMPのほうが効果的であると示唆された。

## 謝辞

本研究に対して助成を賜りました財団法人石

本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) Bove A.A.: Medical disorders related to diving. *J. Intensive Care Med.*, 17: 75-86(2002)
- 2) 池田知純: 潜水医学入門-安全に潜るために(第3版). 大修館書店, 東京(2000)
- 3) 澁澤真美, 黒川勝英, 内藤 薫, 片山幸太郎, 中島一憲, 武田友孝, 石上恵一: スキューバダイビング用マウスピースのアンケート調査. *スポーツ歯学* 10: 57-58(2006)
- 4) 廣瀬俊章, 小野高裕, 長島 正, 野首孝祠: スキューバダイビング用マウスピースが顎口腔系に与える影響について. *スポーツ歯学*, 5: 1-10(2002)
- 5) Roberts G.V.: Diver's mouth syndrome: a field study. *Dent. Update*, 27: 74-77(2000)
- 6) Grant SMB, Johnson F.: Diver's mouth syndrome: A report of two cases and construction of custom-made regulator mouthpieces. *Dent. Update*, 25: 254-256(1998)
- 7) Goldstein G.R., Katz W.: Divers mouth syndrome. *NY State Dent. J.*, 10: 523-525(1982)
- 8) Koob A., Ohlmann B., Gabbert O., Klingmann C., Rammelsberg P., Schmitter M.: Temporomandibular disorders in association with scuba diving. *Cr. J. Sport Med.*, 15: 359-363(2005)
- 9) Aldridge R.D., Fenlon M.R.: Prevalence of temporomandibular dysfunction in a group of scuba divers. *Br. J. Sports Med.*, 38: 69-73(2004)
- 10) Roydhouse N.: 1001 disorders of the ear nose and sinuses in scuba divers. *Can. J. Appl. Sport Sci.*, 10: 99-103(1985)
- 11) Hobson R.S.: Temporomandibular dysfunction syndrome associated with scuba diving mouthpieces. *Br. J. Sports Med.*, 25: 49-51(1991)
- 12) Mack P.J., Hobson R.S., Astell J.: Dental factors in scuba mouthpiece design. *Br. Dent. J.*, 158: 141-142(1985)
- 13) Matsui R., Ueno T., Ohyama T.: Fabrication of a custom diving mouthpiece using a thermoforming material. *J. Prosthet. Dent.*, 92: 392-394(2004)
- 14) Ihara C., Takahashi H., Matsui R., Yamanaka T., Ueno T.: Bonding durability of custom-made mouthpiece for scuba diving after water storage under pressure. *Dent. Materials J.*, 28: 487-492(2009)
- 15) Newtons J.P., Hobson R.S., Sturrock K.C.: The design and construction of customized mouthpieces for scuba diving. *Eur. J. Prosthodont. Rest. Dent.*, 3: 223-226(1995)
- 16) 廣瀬俊章, 小野高裕, 長島 正, 野首孝祠: スキューバダイビング用マウスピースの設計が呼吸抵抗に及ぼす影響. *スポーツ歯学*, 8: 40-49(2005)
- 17) 廣瀬俊章, 小野高裕, 野首孝祠: スキューバダイビング用マウスピースの形態と口腔周囲筋の疲労との関連について. *スポーツ歯学*, 10: 78-84(2007)
- 18) Hobsons R.S., Newton J.P.: Dental evaluation of scuba diving mouthpieces using a subject assessment index and radiological analysis of jaw position. *Br. J. Sports Med.*, 35: 84-88(2001)
- 19) 石川悟朗, 小椋秀亮, 塩田重利, 砂田今男(代表): 新歯学大事典. 永末書店, 京都(1985)
- 20) Traudowsky M., Dworkin J.B.: Determination of the physiologic equilibrium point of the mandible by electronic means. *J. Prosthet. Dent.*, 48: 89-98(1982)
- 21) 廣瀬俊章, 小野高裕, 長島 正, 野首孝祠: スキューバダイビングにおける経験度とマウスピースの破損との関係. *スポーツ歯学*, 7: 52-57(2004)
- 22) Hobson R.S.: Airway efficiency during the use of scuba diving mouthpieces. *Br. J. Sports Med.*, 30: 145-147(1996)