The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	スキューバダイビング用カスタムメイドマウスピースの形態による影響
Author(s)	廣瀬, 俊章
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/70705
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

スキューバダイビング用カスタムメイドマウスピースの形態による影響

The effect of the shape of custom-made mouthpiece for scuba diving

大阪大学大学院歯学研究科顎口腔機能再建学講座

有床義歯補綴学・高齢者歯科学分野

廣瀬　俊章

緒言

今日，スキューバダイビングは年齢を問わず楽しむことができるレジャースポーツとして世界的に普及している．スキューバダイビングの際には，タンクに充填された空気を呼吸に適した状態に変換してダイバーに供給するためのレギュレータが必要となる．このレギュレータを口腔周囲に固定するために，多くの場合スキューバダイビング用マウスピース（以下，マウスピース）が使用される．市販されている一般的な形態を持つマウスピースは，レギュレータに接続する「コネクター」，ダイバーの口腔前庭に挿入し，空気の漏洩や海水の浸入を防止する「ラビアルフレンジ」，ダイバーが第一小臼歯付近で咬合保持する「プラットフォーム」，第一小臼歯付近の歯の舌側部分に接触し脱離に抵抗する「オクルーザルラグ」より構成されており（図 1）(1)，また，コネクターの内面にはレギュレータと嵌合して脱離に抵抗するために，「リブ」が設置されている（図 2）(2)．

一方，ダイバーは，ダイビングの際に，大臼歯部の咬合接触がなくなり，下顎が前方に偏位した状態で持続的なかみしめによってマウスピースを口腔内に保持していることが報告されている（3～12）．Pinto は（3），このダイビングの際に発生する「下顎前方偏位」，「大臼歯部咬合接触欠落」，「持続的かみしめ」が顎口腔周囲組織への負担や障害の原因となる可能性を報告している．さらに Goldstein ら（13）は，スキューバダイビングが原因で発症する咀嚼筋や顎関節の痛みに加え，歯肉の創傷や潰瘍，歯の痛みを含む顎口腔周囲組織の障害を「ダイバーズマウスシンドローム」（以下，DMS）として報告している．

また，DMS への対応として，多くの研究者が，プラットフォームを大臼歯部まで延長し，ラビアルフレンジを歯肉頬移行部まで拡大したうえで，ダイバーの個々の口腔に合わせて適合するよう形態を付与したカスタムメイドマウスピースが有効であるとし，その形態や製作方法について報告している（14～22）．しかし，製作が複雑になることから広く普及するには至っていない．

これまでに我々は，100 名のダイバーを対象にアンケートを行い，上級者よりも初級者の方が，ダイビングの際の顎のだるさや痛みなど，口腔周囲の不快症状を感じる者の割合が高く，マウスピースの保持方法として初級者では咬合力を，上級者では口唇の力を利用する傾向があることを明らかにしてきた（1）．さらに我々は，形態を変化させたいくつかの実験用マウスピースを装着した際の前後的下顎位を観察した結果，ラビアルフレンジ内面と前歯部唇側面とを適合させることによって，下顎前方偏位を防止する可能性を示してきた（1）．

そこで本研究では，マウスピースの保持に関係するプラットフォームとラビアルフレンジの形態が，長時間の持続的なかみしめの解消やダイビングの際の顎口腔周囲組織の不快症状の軽減に与える効果について検討することを目的とし，まず実験 I では，プラットフォ

ームやラビアルフレンジの形態が口腔周囲筋の筋活動に与える影響を，実験Ⅱでは，口腔周囲筋の筋疲労に与える影響を実験的に検討し，さらに実験Ⅲでは，プラットフォームを延長し，ラビアルフレンジを拡大したカスタムメイドマウスピースの使用感についてダイバーを対象にアンケートを行った.

実験Ⅰ．マウスピースの形態が口腔周囲筋の筋活動に与える影響

本実験では，マウスピースのラビアルフレンジやプラットフォームの形態が，側頭筋，咬筋，口輪筋の筋活動に与える影響を，筋電図を使用して検討した．

1．方法

1）研究対象者

研究対象者は，第三大臼歯以外に歯の欠損がなく，自覚的，他覚的に顎口腔機能に異常を認めない 25～30 歳（平均年齢 28.3 歳）のマウスピースの使用経験がある者として，ダイビング初級者の男性 4 名とした．また，実験は，すべての研究対象者に対して，目的や内容について十分に説明し同意を得た上で実施した．

2）実験用マウスピース

実験Ⅰでは，以下のような 3 種類の実験用マウスピースを製作した（図 3）．

Type A : プラットフォーム後縁を第一小臼歯部に設定し，ラビアルフレンジ辺縁を辺縁歯肉部に設定したもの（一般的な形態）．

Type B：Type A のプラットフォーム後縁を第二大臼歯部まで延長したもの．

Type C：Type A のラビアルフレンジ辺縁を歯肉頬移行部まで拡大したもの．

また，実験Ⅰで使用した実験用マウスピースは，市販のシリコーン製マウスピース（SI レディース，ハリサン，東京）に，シリコーン系義歯床用軟性裏装材（ソフリライナー，トクヤマデンタル，東京）を追加し，以下の手順で製作した（23）．

① アルジネート印象材（アローマファインプラス，ジーシー，東京）にて上下顎歯列の印象を採得し，前歯部において 4 mm 咬合挙上した状態でワックス（パラフィンワックス，ジーシー，東京）にて顎間関係を記録した．

② プラットフォーム上面に咬合採得用シリコーンゴム印象材（エクザバイトⅡ，ジーシー，東京）を盛り付け，口腔内に挿入して咬合させ，マウスピースと上顎歯列との位置関係を記録した（図 4）．

③ 歯列模型を歯科用硬石膏（ニューダイヤストーン，モリタ，東京）にて製作し，上下顎歯列模型を平均値咬合器（Gysi Simplex OU-H3，コマツ，東京）に装着した．

④ ②で採得した位置関係をもとに，マウスピースを上顎歯列模型に適合させ，咬合採得用シリコーンゴム印象材（エクザバイトⅡ）にてプラットフォーム下面に咬合面を記録したものを Type A とした（図 5）．なお，上下顎の咬合面記録部分は，咬頭がわずかに印

記される状態までトリミングした.

⑤ 模型上で Type A のプラットフォームを，咬合採得用シリコーンゴム印象材（エクザバイトⅡ）にて延長し，手順⑦に移り完成させたものを Type B とした．なお，プラットフォームの延長は近遠心的には第二大臼歯遠心まで，頬舌的には頬舌側の最大豊隆部までとし，咬頭がわずかに印記される状態までトリミングした（図 6）.

⑥ 口腔内で Type A を咬合保持させ，シリコーンゴム印象材（エクザフレックス・レギュラー，ジーシー，東京）にて，ラビアルフレンジが歯肉頬移行部まで延長するように口唇突出を主とした筋形成を繰り返した後，手順⑦に移り完成させたものを Type C とした（図 7）.

⑦ 手順⑤または手順⑥にて成形したマウスピースに，スプルー（ユーティリティーワックス，ジーシー，東京）を植立し，歯科用普通石膏（ノリタケデンタルプラスター，クラレ，東京）にて埋没した後に流ろうし，成型に用いた咬合採得用シリコーンゴム印象材や，印象採得用シリコーンゴム印象材を除去した.

⑧ マウスピースを元の位置に戻し，加圧填入器（イージー・インジェクション，デントピア，東京）にてシリコーン系義歯床用軟性裏装材（ソフリライナー）を圧入し，硬化させた.

⑨ 割り出し，スプルー切断を行い，研磨を行った.

3）実験条件

まず，実験用マウスピースのコネクター部内面に適合するアタッチメントを，歯科印象トレー用レジン（トレーレジンⅡ，松風，京都）にて製作し，重錘とアタッチメントをナイロン糸で連結した荷重装置を製作した．次に，研究対象者をリラックスさせた状態で歯科用治療椅子に座らせ，フランクフルト平面が可及的に床面と平行になるようにヘッドレストを調節して頭部を固定した．その後，研究対象者に実験用マウスピースを咬合保持するように指示し，研究対象者の前方，フランクフルト平面と同じ高さに設置した滑車と荷重装置を利用して，正面方向に床面と平行に 4.6Nの負荷を 7 分間加えた状態（24）での活動電位を記録した．なお，活動電位の誘導部位は，側頭筋前部，咬筋浅部，上唇部口輪筋の鼻翼下部とし，皮膚清拭剤（スキンピュア YZ-0019，日本光電，東京）にて清拭した後，銀／塩化銀表面電極（NT-211U，日本光電，東京）を，電極間距離 10 ㎜として筋線維と平行になるよう貼付した（図 8）．これら電極により導出したデータは，周波数特性をローカット 1.5 Hz，ハイカット 1 kHz に設定した生体アンプ（AB-651J，日本光電，東京）にて増幅後，データレコーダ（PC216Ax，Sony magnescale，東京）に記録した上でパーソナルコンピュータ

（Optiplex GXL5133，DELL，東京）に入力した．一方，一般的な形態を持つ Type A とプラットフォームを延長した Type B，また一般的な形態を持つ Type A とラビアルフレンジを拡大した Type C は，それぞれ同一日に電極をはずさずに，Type A から 1 回ずつ活動電位を記録し，記録の間には疲労が残らないよう 5 時間以上の十分な間隔をとった．

4）データ解析

側頭筋，咬筋，口輪筋において，それぞれ記録された活動電位の 1 分間の積分値を算出して筋活動量を求めた．各筋から得られた 1 分間の筋活動量の左右の平均を標本値とし，7 分間を 7 区分することによって得られた標本数 7 について，研究対象者ごとに Type A，Type B 間ならびに Type A，Type C 間で平均値の差の検定を行った．なお，統計解析については，同一個人内の比較であり，それぞれの 7 区間を特徴のある固有の区間と評価し，各区間どうしを関連のあるデータと考えて，paired-t 検定を行い，危険率を 5%または 1%とした．

2．結果

1）プラットフォームの形態を変化させた場合

側頭筋，咬筋，口輪筋の各筋活動量について，すべての研究対象者において Type B の方が Type A よりも有意に低い値を示した（図 9）．

2）ラビアルフレンジの形態を変化させた場合

側頭筋の筋活動量については，すべての研究対象者において Type A と Type C の間に有意な差はなかった．また咬筋では，すべての研究対象者において Type A よりも Type C の方が有意に低い値を示した．一方口輪筋では，すべての研究対象者において Type A よりも Type C の方が有意に高い値を示した（図 10）．

3．小括

本実験では，プラットフォーム延長またはラビアルフレンジ拡大が，側頭筋，咬筋，口輪筋の筋活動量に与える影響について検討した．その結果，プラットフォームを延長した場合，側頭筋，咬筋，口輪筋の筋活動量が有意に低下した．また，ラビアルフレンジを拡大した場合，咬筋の筋活動量は有意に低下し，口輪筋の筋活動量は有意に増加した．

実験Ⅱ．マウスピースの形態が口腔周囲筋の筋疲労に与える影響

これまでの我々の調査から，ダイビングの際にダイバーが感じる「顎のだるさや痛み」については，多くの場合一過性の筋疲労であることが示されている（1）．また，実験Ⅰでは，プラットフォーム延長やラビアルフレンジ拡大が，マウスピースを保持するための側頭筋や咬筋といった閉口筋群の筋活動を抑制することが示された．

そこで実験Ⅱでは，プラットフォーム延長やラビアルフレンジ拡大が，閉口筋群の筋疲労に与える影響について，「最大咬合力」，「咀嚼能率」，「咬合持続時間」の計測値の低下を疲労の指標として検討した．

1．方法

1）研究対象者

研究対象者は，第三大臼歯以外に歯の欠損がなく，自覚的，他覚的に顎口腔機能に異常を認めない 27～32 歳（平均年齢 30.3 歳）のマウスピースの使用経験がある者として，ダイビング初級者の男性 4 名とした．また，実験はすべての研究対象者に対して，実験の目的や内容について十分に説明し同意を得た上で実施した．

2）実験用マウスピース

実験Ⅱでは，実験Ⅰと同様の手順で 3 種類の実験用マウスピースを製作した．（図 3）

3）実験条件

（1）筋疲労の指標

本実験では，マウスピースの使用によって誘発する口腔周囲筋の筋疲労を評価するため，「最大咬合力」，「咀嚼能率」，「咬合持続時間」の計測値の低下を疲労の指標とした．

① 最大咬合力の計測

まず研究対象者の咬頭嵌合位を確認した後，咬合力計測用シート（デンタルプレスケール，50H，R type，ジーシー，東京）を用い，咬頭嵌合位における 3 秒間の最大咬みしめを行わせた．次にデンタルプレスケール専用解析装置（オクルーザーFDP703，ジーシー，東京）を用いて最大咬合力の計測を行った．

② 咀嚼能率の計測

各研究対象者に，試験用グミゼリー1 個を習慣性咀嚼側にて 20 回咀嚼させ，その咬断片を可及的に回収して，蒸留水中に溶出したグルコース濃度から咬断片表面積増加量

を計算し，これを咀嚼能率として算出した（25）.

③　咬合持続時間の計測

各研究対象者において，まずアルジネート印象材（アローマファインプラス）にて上下顎歯列の印象を採得し，前歯部において 3 mm 咬合挙上した状態でワックス（パラフィンワックス）にて顎間関係を記録した．次に上下顎歯列模型を平均値咬合器（Gysi Simplex OU-H3，コマツ，東京）に装着した上で，常温重合レジン（オストロン，ジーシー，東京）を用いて全歯列に咬合接触し，側面にフックを設置した下顎牽引装置を製作した（図 11）．なお咬合持続時間は，この下顎牽引装置を咬合した状態で重錘をフックに下垂して 49 N の荷重を加え（26），顎間距離が変化しないように咬合保持させた上で疼痛などの不快症状を感じた時点で挙手するように指示し，荷重を加えてから不快症状を感じるまでの時間として計測した（26，27）.

（2）実験の手順

まず，最大咬合力，咀嚼能率，咬合持続時間の 3 項目を 1 回ずつ計測し，この値を「疲労前計測値」とした．次に，研究対象者をリラックスした状態で歯科用治療椅子に座らせ，フランクフルト平面が可及的に床面と平行になるようにヘッドレストを調節して頭部を固定し，この姿勢で 3 種類のマウスピースのいずれかを咬合保持させた上で，実験 I と同様の荷重装置と滑車を用いて正面方向に床面と平行に 13.8 N の負荷を 15 分間加えて筋疲労を誘発した．その後，マウスピースを外して再び最大咬合力，咀嚼能率，咬合持続時間の 3 項目を 1 回ずつ計測し，この値を「疲労後計測値」とした．さらにそれぞれのマウスピースについて，順不同で同様の手順を日を変えて 5 回ずつ実施し，疲労前計測値と疲労後計測値との比較を行い，マウスピースの形態による筋疲労への影響を検討した（図 12）.

4）データ解析

それぞれの実験用マウスピース使用時の「最大咬合力」,「咀嚼能率」,「咬合持続時間」について，疲労前計測値と疲労後計測値との比較を行った．また，統計解析については paired-t 検定を行い，危険率 1%とした.

2．結果

「最大咬合力」,「咀嚼能率」,「咬合持続時間」について，疲労前計測値と疲労後計測値との比較を行ったところ，すべての研究対象者において Type A のマウスピースを装着した場合，疲労前と比較して疲労後の計測値の方が有意に低い値を示した（図 13-15）．またすべての研究対象者において Type B，Type C では疲労前後の計測値に有意な差は認めなかった.

3．小括

本実験では，マウスピースのプラットフォーム延長やラビアルフレンジ拡大が，口腔周囲筋の筋疲労に与える影響について実験を行った．その結果，一般的な形態を持つマウスピースを使用した場合，筋疲労の指標とした「最大咬合力」，「咀嚼能率」，「咬合持続時間」は，疲労前よりも疲労後の方が計測値は有意に低下したが，プラットフォームを延長またはラビアルフレンジを拡大したマウスピースを使用した場合には，疲労前後の計測値に有意な差を認めなかった．

実験Ⅲ　マウスピースのプラットフォーム延長ならびにラビアルフレンジ拡大の効果についてのアンケート

プラットフォーム延長やラビアルフレンジ拡大によって，実験Ⅰの筋電図の検討では，側頭筋と咬筋の筋活動量が減少することが示され，また実験Ⅱの疲労実験では，閉口筋群の疲労を軽減する効果が示された．そこで実験Ⅲでは，プラットフォーム延長やラビアルフレンジ拡大の影響を，実際にダイビングで使用したダイバーへのアンケートによって検討した．

1．方法

1）研究対象者

ダイビングインストラクターの資格を有するダイバー20 名（男性：16 名　女性：4 名，平均年齢 36.6 歳，ダイビング歴：平均 14.6 年，現在の 1 か月のダイビング回数：平均 50.3 回，これまでの総ダイビング回数：平均 4891 回）（表 1）の協力を得た．いずれの研究対象者も智歯を除く全歯列を有しており，ダイビングを行う上で支障となる歯科的な問題はなかった．また，研究対象者には本調査の意義を説明したうえで，その意義に賛同し自発的な協力が期待できる者を選択した．なお，本研究のプロトコールは大阪大学歯学部倫理審査委員会の承認を得ており（H26-E30），すべての研究対象者には，調査の趣旨や方法について事前に説明し，書面による同意を得た．

2）実験用マウスピース

実験Ⅰ，Ⅱで使用した実験用マウスピースは，製作手順が複雑であり，市販のマウスピースとシリコーン系義歯床用軟性裏装材（ソフリライナー）との接着強度が明らかになっていないことなど，いくつかの問題があった．そこで，実験Ⅲでは，製作手順や材料などを改善して，プラットフォーム延長とラビアルフレンジ拡大を行った，実験用カスタムメイドマウスピースの製作を行った．

①　印象・咬合採得

上下顎歯列の印象採得をアルジネート印象材（アローマファインプラス）で行い，前歯部において 4 mm 挙上した状態でワックス（パラフィンワックス）にて顎間関係を記録した．

②　歯列模型製作・咬合器装着

歯列模型を歯科用硬石膏（ニューダイヤストーン）にて製作し，平均値咬合器（ユニティ咬合器，YDM，東京）に装着した．

③　ワックスパターン製作

あらかじめ咬合面部とコネクター部のワックスパターン（図 16）を製作し，歯列模型に咬合した状態で固定してから（図 17），プラットフォームのワックスパターンを上下顎第二大臼遠心部まで，ラビアルフレンジのワックスパターンを歯肉頬移行部まで製作した．その後，コネクター開口部外縁にそって歯列模型前歯部を削除し，歯列模型前歯部唇面とラビアルフレンジ内面との間隙をワックス（パラフィンワックス）にて埋めワックスパターンを完成した．

④　埋没，重合，研磨

歯科用普通石膏（ノリタケデンタルプラスター）にて埋没，流ろうの後，シリコーンゴム（型取り用シリコーンゴム，モメンティブ，東京）を填入してから（図 18），沸騰水に 5 分間浸漬し一次硬化させた．その後フラスコから埋没材のみを取り出して上下埋没材を固定し，電子レンジ（500W）で 15 分間二次硬化させた上で（28），割り出し，研磨を行った．

⑤　試適・調整

口腔内に装着し右側前方 45°の角度で 1.96 N の負荷を加え（29），痛みや違和感がないかを確認し，必要に応じて調整を行い完成した（図 19）．

3）実験条件

まず，研究対象者に対して，性別，年齢，ダイビングを始めてからの年数，これまでの総ダイビング回数と 1 か月間の平均ダイビング回数を問診した上で（表１），口腔内検査にて齲蝕や欠損等未処置の問題がないかを確認した．次に研究対象者がこれまでに使用した一般的な形態を持つマウスピースの使用感に関して，「顎のだるさ，痛み」，「空気の漏洩，海水の浸入」，「唇や頬の疲労感」，「持続的にかみしめる必要性」の 4 項目について 0 を「全く感じない」，10 を「強く感じる」とした 10 段階で評価させた．

その後，製作したカスタムメイドマウスピースを研究対象者に提供して 4 週間以上経過した後，調査期間中のダイビング回数を確認した上で，一般的な形態を持つマウスピースの場合と同じ内容の 4 項目について，カスタムメイドマウスピースに関する使用感を 10 段階で評価させた．

4）データ解析

それぞれの質問項目における，一般的な形態を持つマウスピースとカスタムメイドマウスピースとの評点について比較を行った．また，統計解析は Wilcoxon signed-rank test を行い，危険率 5%とした．

2. 結果

本実験の調査期間は平均 35.9 日であり，この間に研究対象者が行ったダイビング回数は平均 45.6 回であった.

「顎のだるさ，痛み」,「空気の漏洩，海水の浸入」,「唇や頬の疲労感」,「持続的にかみしめる必要性」の 4 項目について，一般的な形態を持つマウスピースとカスタムメイドマウスピースとの比較を行ったところ，すべての項目において評点に有意な差が認められ，カスタムメイドマウスピースの方が良好な評価が得られた（図 20）.

3. 小括

本実験では，プラットフォーム延長ならびにラビアルフレンジ拡大による影響について，実際のマウスピース使用状況下で検討するためにアンケートを行い，検討を行った．その結果「顎のだるさ，痛み」,「空気の漏洩，海水の浸入」,「唇や頬の疲労感」,「持続的にかみしめる必要性」の 4 項目すべてにおいて，評点に有意な差を認め，プラットフォーム延長ならびにラビアルフレンジ拡大を行ったマウスピースの方が良好な評価が得られた.

考察

スキューバダイビング用マウスピースについて，その形態の変化がダイバーに与える生理的な影響に関する実験的な報告は少なく（17, 24），特にラビアルフレンジの形態変化が顎口腔周囲組織へ与える影響については，これまでに実験的な報告がない．

そこで本研究ではスキューバダイビング用マウスピースについて，プラットフォーム延長とラビアルフレンジ拡大がダイバーの顎口腔周囲組織に与える影響を検討するため，まず実験ⅠとⅡでは，口腔周囲筋の筋活動や筋疲労に与える影響を実験的に検討し，次に実験Ⅲでは，実験的研究の結果から考えられる影響を検討するためダイバーにアンケートを行った．

その結果，プラットフォームの延長によって，側頭筋，咬筋，口輪筋の筋活動量の低下を認め，ラビアルフレンジの拡大によって，咬筋の筋活動量の低下，口輪筋の筋活動量の増加を認めた．さらに，プラットフォーム延長，ラビアルフレンジ拡大によって，マウスピースを保持する際の筋疲労が軽減する可能性が示され，「顎のだるさ，痛み」，「空気の漏洩，海水の浸入」，「唇や頬の疲労感」，「持続的にかみしめる必要性」について，その使用感を改善する可能性が示された．

１．実験方法について

1）実験Ⅰについて

マウスピースの形態が口腔周囲筋に与える影響を観察する方法として筋電図を採用した．筋電図では，筋線維から発生する活動電位を可視化することができるため，特定の筋の活動状況を観察することが可能である．また，筋電図では，筋の疲労や電極の貼付部位によって活動電位の値が影響を受ける可能性があるため（30, 31），電極を外さず活動電位を記録できるよう Type A と Type B，Type A と Type C はそれぞれ同一日に記録を行い，また記録を行う場合には，テンプレートを用いて（32）電極の貼付部位が可及的に同じになるよう配慮した．また，被験筋については，マウスピースの咬合による保持に関係する閉口筋として側頭筋と咬筋，マウスピースの口唇による保持に関係する筋として口輪筋を選択した．

2）実験Ⅱについて

筋疲労の評価方法としては，筋電図の周波数解析法が多く報告されている（33-40）．しかし，咀嚼筋の場合，四肢筋と比較して疲労様相の評価は非常に困難であり，筋疲労を活動電位の周波数分析から判定することにも限界があるとされている（41）．一方，疲労の定義として猪飼は（42），「作業による作業能力の低下した状態」とし，さらに「筋疲労は筋力および

その持続時間を計ることによって判定される」としており（43），Tzakis ら（27）は，激しいかみしめによる影響について，「最大咬合力」，「咀嚼能率」，「咬合持続時間」といった機能から疲労を評価している．そこで本実験においては，猪飼の疲労に関する定義に従い，「最大咬合力」，「咀嚼能率」，「咬合持続時間」を対象として口腔周囲筋の疲労を評価した．

咬合力の計測には，咬頭嵌合位における全歯列咬合力の計測が可能である，感圧シートを利用したデンタルプレスケールの他に，受圧部にひずみゲージを応用した携帯式の個歯咬合力計（オクルーザルフォースメーター，長野計器，東京）が利用される．しかし，個歯咬合力計の場合，1 歯単位での咬合力の計測となるうえ，下顎位が作業側に偏位し，この下顎位の偏位が最大咬合力に影響を与える可能性がある（44）．したがって，本実験ではデンタルプレスケールを採用した．

また，咀嚼能率計測には，従来ピーナッツ（45），生ニンジン（46），生米（47），ポリカーボネートマイクロカプセル含有チューインガム（48）などが被験試料として用いられてきたが，形状や大きさ，品質の規定，衛生管理の面から十分な条件を満たしていなかった．グミゼリーによる咀嚼能率計測法は，被験試料として十分な条件を満たすグミゼリーによって，比較的簡便に正確に咀嚼能率を計測することが可能である（49）ことから計測方法として採用した．

さらに，咬合持続時間の計測については原崎（50）や Tzakis ら（27）が報告している．原崎は北総（51）の考案した下顎牽引装置に重錘を下垂して 49N の荷重を加えることで負荷を規定しており，Tzakis らは，ひずみゲージをとりつけて，加わる荷重を表示できるようにしたバイトフォークを利用し，研究対象者に表示を確認しながら 150N の荷重が加わるように咬合することを指示して負荷を規定している．本実験では過剰な負荷は歯の痛みや脱臼，破折の原因となる可能性があり，予備実験の結果，49N の荷重を下顎牽引装置に加える方法を採用した．

3）実験Ⅲについて

研究対象者の主観的な評価法には，NRS（Numerical Rating Scale）法（52）や VAS（Visual Analogue Scale）法がある．数名の研究対象者に VAS 法による記入方法を説明したところ理解を得にくかったことから，本研究では，より簡便で理解が得られやすいとされる NRS 法を採用した．

4）研究対象者について

これまでに我々が行った 100 名のダイバーを対象にしたアンケート（1）から，初級者は

上級者と比較して，マウスピースの保持に口唇の力よりも咬合力を利用する傾向があり，さらに初級者の方が上級者よりも，ダイビングの際の顎のだるさや痛みなど，口腔周囲の不快症状を感じる者の割合が高いことが明らかになっている．この結果から，実験Ⅰ，Ⅱでは，マウスピースの形態による影響が，より顕著に現れると考えられるダイビング初級者を研究対象者とした．

一方，実験Ⅲでは，カスタムメイドマウスピースを実際のダイビングにおいて使用する必要があり，実験の安全性の確保のために想定外の事態に対応できる能力が必要であったことから，ダイビング上級者であるダイビングインストラクターを研究対象者とした．

5）実験Ⅰ，Ⅱ，Ⅲの実験用マウスピースについて

カスタムメイドマウスピースの製作方法については，Lamendin（14）が，市販のマウスピースにシリコーンゴムを追加して製作する追加法を，Grant ら（15）や Newton ら（53）が，ロストワック法を，Matsui ら（54）が，サーモフォーミング法をそれぞれ報告している．

ロストワックス法（15，53）は，模型上でプラットフォーム延長やラビアルフレンジ拡大を行ったワックスパターンを製作し，埋没，流ろうの後にシリコーンゴムやアクリル系軟性レジンを填入してカスタムメイドマウスピースを製作する方法で，技工操作が比較的簡便である．また，Grant ら（15）の場合，カスタムメイドマウスピースの材料としてシリコーンゴムを採用しているが，その機械的強度や化学的安全性については検討がなされていない．

また，サーモフォーミング法は，歯列模型上に熱可塑性のポリオレフィン系軟質マウスガード材料を数回圧接してカスタムメイドマウスピースを製作する方法である．この方法は，技工操作や水圧の増減などが，引き裂き強度や吸水性などの機械的物性に与える影響についても研究されている（55）．しかし，製作方法が比較的複雑であるため，広く普及するには至っていない．

今回の実験Ⅰ，Ⅱでは，Lamendin の報告（14）を参考に，市販のマウスピースにシリコーン系義歯床用軟性裏装材を追加し，プラットフォームやラビアルフレンジの形態を変化させて製作した．一方実験Ⅲでは，実験Ⅰ，Ⅱの製作方法を改良し，技工操作が簡便でより安価にカスタムメイドマウスピースを製作できるロストワックス法を用いて実験用マウスピースを製作した．

今回の研究で使用した実験用マウスピースの安全性については，市販のマウスピースについて，機械的・化学的安全基準が設定されていないことから，現状では評価することが困難である．しかし，実験Ⅲで使用した実験用マウスピースについては，引張強度や引き裂き

強度が，市販のマウスピースと同等であることを確認しており（56），さらに，プラットフォームを延長したマウスピースでは，市販のマウスピースと比較して，プラットフォーム上の応力集中が緩和されることを，3 次元有限要素モデルにて確認している（57）．以上のことから，実験Ⅲで使用した実験用マウスピースについては，少なくとも市販のマウスピースと比較して，同等以上の安全性を有していると評価できる．

6）実験Ⅰの実験条件について

Ingervall ら（24）は，ダイビングの際にマウスピースに加わる負荷は正面方向に 4.6N に近似するとしていることから，本実験では，活動電位記録の際のマウスピースに加わる負荷を正面方向に 4.6N に設定した．

また，本実験では一般的な形態の Type A とプラットフォームの形態を変化させた Type B，また Type A とラビアルフレンジの形態を変化させた Type C を比較するため，同一対象者に対して，それぞれ同一日に電極をはずさずに活動電位を記録した．このことは電極の貼付部位の相違による差をなくし，プラットフォームおよびラビアルフレンジの形態による筋活動量への影響の比較を可能にするものと考えられる．

7）実験Ⅱの実験条件について

予備的な検討として，Ingervall ら（24）が行った実験系における負荷を参考に 4.6N の荷重を行ったが，長時間の荷重に対しても研究対象者の疲労は生じなかった．そのため負荷を 2 倍，3 倍に設定し検討した結果，13.8N の荷重において 15 分前後で疲労を生じたため，実験Ⅱでは 13.8N の負荷を正面前方方向に 15 分間加えることとした．

8）実験Ⅲの実験条件について

本実験では，一般的な形態を持つマウスピースとカスタムメイドマウスピースとの比較をアンケートを用いて行ったが，市販のマウスピースには様々な種類のものがある（2）．そのため，写真や実物にて市販のマウスピースについて説明し，マウスピースの一般的な形態についての認識を共有した上で，回答を依頼した．

２．実験結果について

1）実験Ⅰの実験結果について

実験Ⅰの結果から，咬筋の筋活動量はプラットフォーム延長や，ラビアルフレンジ拡大によって減少することが明らかとなった．このことからプラットフォーム延長と，ラビアルフ

レンジ拡大には，ダイビングの際にマウスピースをより少ない咬合力で保持することを可能とし，ダイビング中の咬筋の筋疲労を軽減することが示唆された．

また，口輪筋の筋活動量は，プラットフォーム延長によって減少し，ラビアルフレンジ拡大によって増加する結果となった．プラットフォームの延長によって，マウスピースを少ない咬合力で楽に保持できるようになり，その結果口唇に加わる負担も減少し，口輪筋の筋活動量が減少したものと考えられる．一方，市販されているマウスピースは，ラビアルフレンジ辺縁に歯肉など軟組織に接触しないよう可及的に小さく設定されているため，口唇を利用してマウスピースを保持することは比較的困難である．しかし，ラビアルフレンジ拡大によって，マウスピース保持に口唇の力を利用できるようになり，口輪筋の筋活動量が増加したと考えられる．さらに，側頭筋や咬筋などの閉口筋群は，持続的なかみしめでは疲労しやすいことが報告されている（33）が，口唇の力でマウスピースを保持することで，マウスピース保持のための咬筋の筋活動量が減少したものと考えられる．

一方，側頭筋の筋活動量は，プラットフォーム延長によって減少したが，ラビアルフレンジ拡大による差を認めなかった．市販のマウスピースの形態が，口腔周囲筋の筋活動量に与える影響について調査した Ingervall らの実験でも，側頭筋の筋活動量は，マウスピースの形態による影響を受けにくいことを報告しており（24），今回も同様の結果である．一般的に側頭筋は下顎位の維持に関与する position muscle，咬筋は咬合力発揮に関与する force muscle であることが報告されている（58, 59）が，今回の実験では，マウスピースを保持する際の咬合位が決まってからの静的な運動であり，位置決めが不要であったことから，側頭筋の筋活動量は顕著に変化しなかった可能性が考えられる．

2）実験Ⅱの実験結果について

これまでの研究で我々は，100 名のダイバーに対してアンケートを行い，62%のダイバーがダイビングの際「顎のだるさや痛み」など口腔周囲の不快症状を感じていることを明らかにしてきた（1）．しかし，この 62%のダイバーの中で 81%のダイバーが，ダイビング以外の日常生活で口腔周囲の不快症状を自覚していなかった．このことは，ダイビングの際にダイバーが感じる口腔周囲の不快症状はほとんどが一過性のものであり，筋疲労が主たる原因であると考えられる（1）．

そこで実験Ⅱでは，「最大咬合力」，「咀嚼能率」，「咬合持続時間」を作業能力として筋疲労の指標とし，プラットフォーム延長またはラビアルフレンジ拡大が筋疲労へ与える影響について検討した．その結果，マウスピースのプラットフォーム延長やラビアルフレンジ拡大は，主に閉口筋群の筋疲労を軽減することが示された．このことは，プラットフォーム延

長やラビアルフレンジ拡大によってマウスピースを保持するために必要な筋力が減少したことで，持続的な閉口筋群によるかみしめが軽減されたことによるものと考えられる．

側頭筋や咬筋などの閉口筋群は，疲労に対する抵抗性が高く，特に咀嚼運動のように収縮と弛緩を繰り返す運動に対しては疲労しにくいが，クレンチングのように持続的な等尺性収縮が過度に，あるいは軽度でも長時間に及んだ場合，その張力によって筋内の血流が低下し，筋痛をはじめとした筋疲労症状が発現することが報告されている（33, 60, 61）．したがってマウスピースを咬合によって保持する際，クレンチングに似た状況が長時間持続するスキューバダイビングは，口腔周囲筋の疲労を誘発しやすいスポーツであると考えられる．

3）実験Ⅲの実験結果について

実験Ⅲでは，アンケートの調査項目として「顎のだるさ，痛み」，「空気の漏洩，海水の浸入」，「唇や頬の疲労感」，「持続的にかみしめる必要性」を採用し，ダイバーのマウスピース使用時の主観的評価を行った．その結果，すべての項目において一般的な形態を持つマウスピースよりもカスタムメイドマウスピースの方が良好な評価を得た．実験ⅠとⅡの結果から，プラットフォームを延長し，ラビアルフレンジを拡大したカスタムメイドマウスピースでは，マウスピースを口腔内に保持するための持続的なかみしめを軽減することが示唆されたが，実験Ⅲの結果から，実際のダイバーの主観的評価においても，「持続的にかみしめる必要性」を軽減することが確認され，マウスピースのプラットフォーム延長やラビアルフレンジ拡大の有効性が示された．

一方，実験Ⅰの結果から，ラビアルフレンジを拡大した場合，咬筋の筋活動量は減少するが，口輪筋の筋活動量は増加することが明らかになっている．この結果は，ラビアルフレンジ拡大が，ダイビング中の口輪筋の活動を増加させて筋疲労を誘発する可能性を示している．さらに，ラビアルフレンジは歯肉と頬または口唇との間隙に挿入されることから，口輪筋が疲労した場合，口唇によるラビアルフレンジの辺縁封鎖能力が減少し，海水の浸入，空気の漏洩などの事故を誘発する可能性が懸念される．しかし，実験Ⅲの「空気の漏洩，海水の浸入」，「唇や頬の疲労感」についてのアンケートの調査の結果から，一般的な形態を持つマウスピースと比較してカスタムメイドマウスピースの方がより良い評価を得たことから，口輪筋の疲労や，疲労によって誘発される空気の漏洩などについては，深刻な懸念材料とならないことが示唆された．

プラットフォームを延長し，ラビアルフレンジを拡大したカスタムメイドマウスピースの効果を実際例にて検討した研究はいくつかある．Grant ら（15）や井原ら（62）は，カスタムメイドマウスピースを顎関節症状のあるダイバーに装着させたところ，症状の軽減を

認めたことを報告している．さらに上野ら（63）は，6 名のダイバーにサーモフォーミング法にてカスタムメイドマウスピースを製作し，ダイビングで使用した際の使用感を VAS 法にて評価させて，市販のマウスピースとの比較を行っており，その結果，フィット感や顎筋疲労感などは，市販のマウスピースよりもカスタムメイドマウスピースの方が良好な評価を得たことを報告している．今回行った実験Ⅰ，Ⅱ，Ⅲとこれらの報告を比較すると，「プラットフォーム延長」および「ラビアルフレンジ拡大」による影響は過去の研究結果と一致する．

このように「プラットフォーム延長」ならびに「ラビアルフレンジ拡大」を行ったカスタムメイドマウスピースは，ダイビングの際の筋疲労，顎のだるさや痛みなどの不快症状を軽減し，安全で快適なダイビングに効果がある可能性が示唆された．

4）本研究の limitation について

本研究では，実験Ⅰ，Ⅱにおける研究対象者が初級者 4 名と限られており，また，実験Ⅰにおいては，試行回数が 1 回と少ないが，研究対象者の疲労や実験の準備から，これ以上の実験は困難であった．しかし，限られた研究対象者においても一定の傾向が認められ，統計学的にも有意な差が認められた．さらに，実験Ⅰ，Ⅱでは室内で計測を行い，実験Ⅲでは水中での使用感を調査していることから，温度や水圧，負荷の方向などの実験環境が異なっている．しかし，実験Ⅰ，Ⅱから予想される，プラットフォーム延長とラビアルフレンジ拡大による影響について，実験Ⅲのアンケートでは，実験Ⅰ，Ⅱで得られた結果を裏付ける結果が確認されている．したがって，実験Ⅰ，Ⅱで得られた結果については，一定の整合性を有するものと考えられる．

総括ならびに結論

本研究は，特にマウスピースの保持に関与するプラットフォームの第二大臼歯部までの延長や，ラビアルフレンジの歯肉頬移行部までの拡大が，筋活動および筋疲労に与える影響を実験Ⅰ，Ⅱで検討し，この実験によって得られた結果から予想される効果や課題について実験Ⅲにて実際例で検討した．

その結果，以下の結論を得た．

1．プラットフォームの延長によって，マウスピースを保持するための側頭筋，咬筋，口輪筋の筋活動量は減少した．

2．ラビアルフレンジの拡大によって，マウスピースを保持するための咬筋の筋活動量は減少し，口輪筋の筋活動量は増加した．

3. プラットフォーム延長やラビアルフレンジ拡大は，マウスピースの保持によって発生する閉口筋群の筋疲労を軽減した.

4. 一般的な形態を持つマウスピースよりも，プラットフォームを延長しラビアルフレンジを拡大したカスタムメイドマウスピースの方が，「顎のだるさ，痛み」，「空気の漏洩，海水の浸入」，「唇や頬の疲労感」，「持続的にかみしめる必要性」について良好な評価を得た.

以上の結果から，プラットフォームを第二大臼歯部まで延長し，ラビアルフレンジを歯肉頬移行部まで拡大したカスタムメイドマウスピースは，マウスピースを保持するための側頭筋や咬筋の筋活動を抑制し，持続的なかみしめを軽減し，顎のだるさや痛み，口唇や頬の筋疲労を軽減することが示され，安全で快適なダイビングに効果のあることが示唆された.

謝辞

稿を終えるにあたり，本研究を行う機会を与えていただき，かつ終始変わらぬ御指導，御校閲を賜りました，大阪大学大学院歯学研究科顎口腔機能再建学講座有床義歯補綴学・高齢者歯科学分野池邉一典教授ならびに前田芳信名誉教授に深甚なる謝意を表します．また，本研究の遂行にあたり長期にわたるご指導を賜りました，新潟大学大学院医歯学総合研究科包括歯科補綴学分野小野高裕教授に心から謝意を表します．また，本研究に対して適切な御指摘，御指導を賜りました大阪大学歯学部附属病院咀嚼補綴科権田知也講師をはじめ，教室員の皆様に心から御礼申し上げます．

参考文献

1. 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. スポーツ歯学誌. 2002; 5: 1-10.
2. 廣瀬俊章, 小野高裕, 前田芳信. 市販のスキューバダイビング用マウスピースの寸法ならびに形態に関する評価. スポーツ歯学誌. 2008; 12: 14-25.
3. Pinto OF. Temporomandibular joint problems in underwater activities. J Prosthet Dent. 1966; 16: 772-81.
4. Yeomans D. Dental problems in diving. Skindiver. 1969; Oct: 40-2.
5. Roydhouse N. The jaw and scuba diving. J Otolarygol Soc Australia. 1977; 4: 162-5.
6. Mack PJ, Hobson RS, Askell J. Dental factors in scuba mouthpieces design. Br Dent J. 1985; 158: 141-2.
7. Hobson RS. Diving and dental pain. S Pac Underwater Med Soc J. 1987; 17: 43-6.
8. Hobson RS. Temporomandibular dysfunction syndrome associated with scuba diving mouthpieces. Br J Sp Med. 1991; 25: 49-51.
9. Aldridge RD, Fenlon MR. Prevalence of temporomandibular dysfunction in a group of scuba divers. Br J Sports Med. 2004; 38: 69-73.
10. Koob A, Ohlmann B, Gabbert O, Klingmann C, Rammelsberg P, Schimitter M. Temporomandibular disorders in association with scuba diving. Clin J Sport Med. 2005; 15: 359-63.
11. Ozturk O, Tek M, Seven H. Temporomandibular disorder in scuba divers – An increased risk during diving certification training. J Craniofac Surg. 2012; 23: 1825-9.
12. Lobbezoo F, Van Wijk AJ, Klingler MC, Ruiz Vicente E, van Dijk CJ, Eijkman MA. Predictors for the development of temporomandibular disorders in scuba divers. J Oral Rehabil. 2014; 41: 573-80.
13. Goldstein GR, Katz W. Diver's mouth syndrome. NY state dent J. 1982; 10: 523-5.
14. Lamendin H. For underwater diving: from a personalized standard mouthpiece to a customized mouthpiece. Chir Dent Fr. 1985; 312: 45-7. (in French)
15. Grant SMB, Johnson F. Diver's Mouth Syndrome: A Report of Two Cases and Construction of Custom-made Regulator Mouthpieces. Dent Update. 1998; 25: 254-6.
16. Roberts GV. Diver's mouth syndrome: a field study. Dent Update. 2000; 27: 74-7.
17. Hobson RS, Newton JP. Dental evaluation of scuba diving mouthpiece using a subject assessment index and radiological analysis of jaw position. Br J Sports Med. 2001; 35: 84-8.
18. 廣瀬俊章, 小野高裕, 池邊一典, 長島正, 野首孝祠. 中・高齢者ダイバーの口腔状態とスキューバダイビング用マウスピースとの関係. スポーツ歯学誌. 2003; 6: 21-9.
19. 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. スポーツ歯学誌. 2005; 8: 40-9.
20. 廣瀬俊章, 小野高裕, 前田芳信. スキューバダイビングと歯科疾患: 安全にマリンスポーツを楽しんでもらうために～第一報, ダイバーを困らせるダイバーズマウスシンドロームとは？～. ザ・クインテッセンス. 2009; 28: 183-90.
21. 廣瀬俊章, 小野高裕, 前田芳信. スキューバダイビングと歯科疾患: 安全にマリンスポーツを楽しんでもらうために～第二報, 歯科からなにができるか～. ザ・クインテッセンス. 2009; 28: 187-94.
22. 廣瀬俊章, 小野高裕, 前田芳信. スキューバダイビング用マウスピースのカスタムメイド化はダイビング中のドライマウスを軽減するか？スポーツ歯学誌. 2010; 13: 81-5.
23. 廣瀬俊章, 小野高裕, 長島正, 野首孝祠. カスタムメイドタイプのスキューバダイビング用マウスピース製作方法. スポーツ歯学誌. 2001; 4: 57-8.（事後抄録）
24. Ingervall B, Warfvinge J. Activity of oro-facial musculature during use of mouthpiece for diving. J Oral Rehabil. 1978; 5: 269-77.
25. Okiyama S, Ikebe K, Nokubi T. Association between masticatory performance and maximal occlusal force in young men. J Oral Rehabil. 2003; 30: 278-82.
26. 原崎守弘. 咀嚼筋の筋疲労における筋電図学的研究. 歯科学報. 1975; 75: 1679-98.
27. Tzakis MG, Karlsson S, Carlsson GE. Effects of intense chewing on some parameters of masticatory function. J Prosthet Dent. 1992; 67: 405-9.
28. 笹山智加, 谷内秀寿, 鷹股哲也, 鍵谷真吾, 笠原隼男, 永澤栄, 大須賀直人, 正村正仁, 岩崎貴美, 富田美穂子. スポーツマウスガードの新規材料に関する基礎的研究-結晶石英フィラー配合シリコーンラバーについて-. スポーツ歯学誌. 2014; 18: 13-29.
29. 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にかかる負荷の大きさと方向について. スポーツ歯学誌. 2006; 9: 33-40.
30. Angelone L, Clayton JA, Brandhorst WS. An approach to quantitative electromyography of the masseter muscle. J Dent Res. 1960; 39: 17-23.
31. Frame JW, Rothwell PS, Duxbury AJ. The standardization of electromyography of the masseter muscle in man. Arch Oral Biol. 1973; 18: 1419-23.
32. Nouri A, Rothwell PS, Duxbury AJ. The reproducibility of electromyographic recordings of the masseter muscle in humans. J Oral Rehabili. 1976; 3: 189-200.
33. Palla S, Ash MM Jr. Effect of bite force on the power spectrum of the surface electromyogram of human jaw muscles. Arch Oral Biol. 1981; 26: 287-95.
34. 志賀博, 浜中秀由喜, 芳賀景嗣, 小林義典. クレンチング時の EMG パワースペクトル

の時間的推移 第7報 咀嚼系機能障害患者における経時的変化. 顎機能. 1989; 7: 189-94.
35. 堀久至. かみしめによる咀嚼筋疲労とその回復に関する筋電図学的研究. 補綴誌. 1989; 33: 294-302.
36. 矢谷博文, 浜田泰三. 筋電図積分値と咬合力との関係からみた咀嚼筋の疲労に関する研究. 顎機能. 1983; 2: 105-10.
37. 堀久至, 林豊彦, 野村修一, 山田好秋, 石岡靖. 負荷試験を用いた筋電図による咀嚼筋機能検査 第1報 周波数分析のパラメータの比較. 顎機能. 1987; 6: 103-6.
38. 長澤亨, 堂脇一郎, 津賀一弘, 田村秀俊, 吉田耕一郎, 津留宏道. 筋疲労時における EMG silent period と周波数分析に関する研究. 顎機能. 1988; 6: 97-102.
39. 田村秀俊, 湯浅良孝, 津賀一弘, 堂脇一朗, 野崎晋一, 佐藤裕二, 吉田耕一郎, 長澤亨, 津留宏道. 咬みしめ時の咀嚼筋筋電図の周波数分析. 顎機能. 1989; 7: 25-30.
40. 松田葉, 藤澤政紀, 川田毅, 石橋寛二. 顎機能異常者の咀嚼筋筋電図解析- 咬みしめ時の Power Spectrum および筋活動量による評価 -. 顎機能. 1989; 7: 195-8.
41. 山田好秋. 筋の疲労および疼痛. 石岡靖, 小林義典, 長谷川成男, 河野正司, 林豊彦, 編. 顎口腔機能分析の基礎とその応用. 東京: デンタルダイヤモンド社; 1991. 260-73.
42. 猪飼道夫. 運動のメカニズム, 新生理学（上巻）. 東京: 医学書院; 1960. 701-55.
43. 猪飼道夫, 石井喜八. 筋力の生理的限界と心理的限界の筋電図学的研究. 体育研. 1961; 5: 154-65.
44. 平林健彦. 種々な下顎位における咬合力に関する研究. 補綴誌. 1975; 18: 337-60.
45. Manly RS, Braley LC. Masticatory performance and efficiency. J Dent Res. 1950; 29: 448-62.
46. Mahmood WA, Watson CJ, Ogden AR, Hawkins RV. Use of image analysis in determining masticatory efficiency in patients presenting for immediate dentures. Int J Prosthodont. 1992; 5: 359-66.
47. 石原寿郎. 篩分法による咀嚼能率の研究. 口病誌. 1955; 22: 207-55.
48. 沼田収, 相馬邦道, 三浦不二夫. ポリカーボネートマイクロカプセル含有のチューインガムによる咀嚼の粉砕能力測定. 顎機能. 1990; 8: 25-8.
49. Ikebe K, Morii K, Matsuda K, Hazeyama T, Nokubi T. Reproducibility and accuracy in measuring masticatory performance using test gummy jelly. Prosthodont Res Pract. 2005; 4: 9-15.
50. 原崎守弘. 咀嚼筋の筋疲労における筋電図学的研究. 歯科学報. 1975; 75: 1679-98.
51. 北総征男. 筋電図棘波数計測　電位累積装置による咀嚼筋の機能判定に関する研究. 歯科学報. 1972; 72: 189-206.
52. 日本集中治療医学会 J-PAD ガイドライン作成委員会. 日本版・集中治療室における成人

重症患者に対する痛み・不穏・せん妄管理のための臨床ガイドライン．日集中医誌. 2014; 21: 539-79.

53. Newton JP, Hobson RS, Sturrock KC. The design and construction of customized mouthpiece for scuba diving. Eur J Prosthet Dent. 1995; 3: 223-6.
54. Matsui R, Ueno T, Ohyama T. Fabrication of a custom diving mouthpiece using a thermoforming material. J Prosthet Dent. 2004; 92: 392-4.
55. Ihara C, Takahashi H, Matui R, Yamanaka T, Ueno T. Bonding durability of custom-made mouthpiece for scuba diving after water storage under pressure. Dent Mater J. 2009; 28: 487–92.
56. 廣瀬俊章, 小野高裕, 前田芳信．スキューバダイビング用マウスピースの材料強度に関する調査．スポーツ歯学誌. 2012; 16: 10-3.
57. 廣瀬俊章, 小野高裕, 前田芳信．スキューバダイビング用マウスピースの形態が応力分布に及ぼす影響-三次元有限要素モデルにおける検討-．スポーツ歯学誌. 2008; 11: 52-7.
58. Latif A. An electromyographic study of the temporalis muscle in normal persons during selected positions and movements of the mandible. Am J Orthod. 1957; 43: 577-91.
59. Ahlgren J, Sonesson B, Blitz M. An electromyographic analysis of the temporalis function of normal occlusion. Am J Orthod. 1985; 87: 230-9.
60. Steenberghe D, Vries JH, Hollander AP. Resistance of jaw-closing muscles to fatigue during repetitive maximal voluntary clenching efforts in man. Arch Oral Biol. 1978; 23: 697-701.
61. Clark GT, Carter MC. Electromyographic study of human jaw-closing muscle endurance, Fatigue and recovery at various isometric force levels. Arch Oral Biol, 1985; 30: 563-9.
62. 井原千恵, 松井亮介, 山中拓人, 斎藤整, 磯山永次郎, 上野俊明．カスタムスキューバダイビングマウスピースによって顎関節症が軽減した 1 症例．スポーツ歯学. 2007; 10: 108-13.
63. 上野俊明, 藤野祥子, 安部圭祐, 高橋敏幸, 松井亮介, 斎藤整, 磯山栄次郎．ダイビングに関連した顎関節症に対するカスタムメイドマウスピースの効果．スポーツ歯学. 2012; 15: 88-9.（事後抄録）

図表の説明

表 1　実験Ⅲにおける研究対象者

図 1　一般的な形態を持つスキューバダイビング用マウスピースの各部名称と口腔内に装着した状態

図 2　レギュレータのリブ

図 3　実験Ⅰ，Ⅱで製作した実験用マウスピース

図 4　マウスピースと上顎歯列との位置関係の記録

図 5　下顎咬合面の記録と実験用マウスピース（Type A）

図 6　プラットフォームの延長と実験用マウスピース（Type B）

図 7　ラビアルフレンジの拡大と実験用マウスピース（Type C）

図 8　活動電位の記録における実験条件

Ta: 側頭筋 Mm: 咬筋 Or: 口輪筋

図 9　Type A とプラットフォームの形態を変化させた実験用マウスピース Type B を装着した状態での筋活動量の比較

Ta: 側頭筋 Mm: 咬筋 Or: 口輪筋

□ : Type A　■ : Type B

各筋から得られた 1 分間の筋活動量の左右の平均を標本値とし，7 分間の計測によって得られた標本数 7 の平均値と標準偏差

図 10　Type A とラビアルフレンジの形態を変化させた実験用マウスピース Type C を装着した状態での筋活動量の比較

Ta: 側頭筋 Mm: 咬筋 Or: 口輪筋

□ : Type A　■ : Type C

各筋から得られた 1 分間の筋活動量の左右の平均を標本値とし，7 分間の計測によって得られた標本数 7 の平均値と標準偏差

図 11　咬合持続時間の計測に用いた下顎牽引装置（左）と荷重方法（右）

図 12　筋疲労の評価における実験条件

図 13　それぞれのタイプのマウスピースにおける最大咬合力の比較

□ : 疲労前計測値　■ : 疲労後計測値

計測した最大咬合力 5 回の平均値と標準偏差

図 14　それぞれのタイプのマウスピースにおける咀嚼能率の比較

□ ：疲労前計測値　■ ：疲労後計測値

計測した咀嚼能率 5 回の平均値と標準偏差

図 15　それぞれのタイプのマウスピースにおける咬合持続時間の比較

□ ：疲労前計測値　■ ：疲労後計測値

計測した咬合持続時間 5 回の平均値と標準偏差

図 16　咬合面部とコネクター部のワックスパターン

図 17　ワックスパターンを歯列模型へ装着

図 18　シリコーンゴムの填入

図 19　完成したプラットフォーム延長ならびにラビアルフレンジ拡大を行ったカスタムメイドマウスピース

図 20　一般的な形態を持つマウスピースとプラットフォーム延長ならびにラビアルフレンジ拡大を行ったカスタムメイドマウスピースとの評点の比較

■ ：一般的な形態を持つマウスピース　□ ：カスタムメイドマウスピース

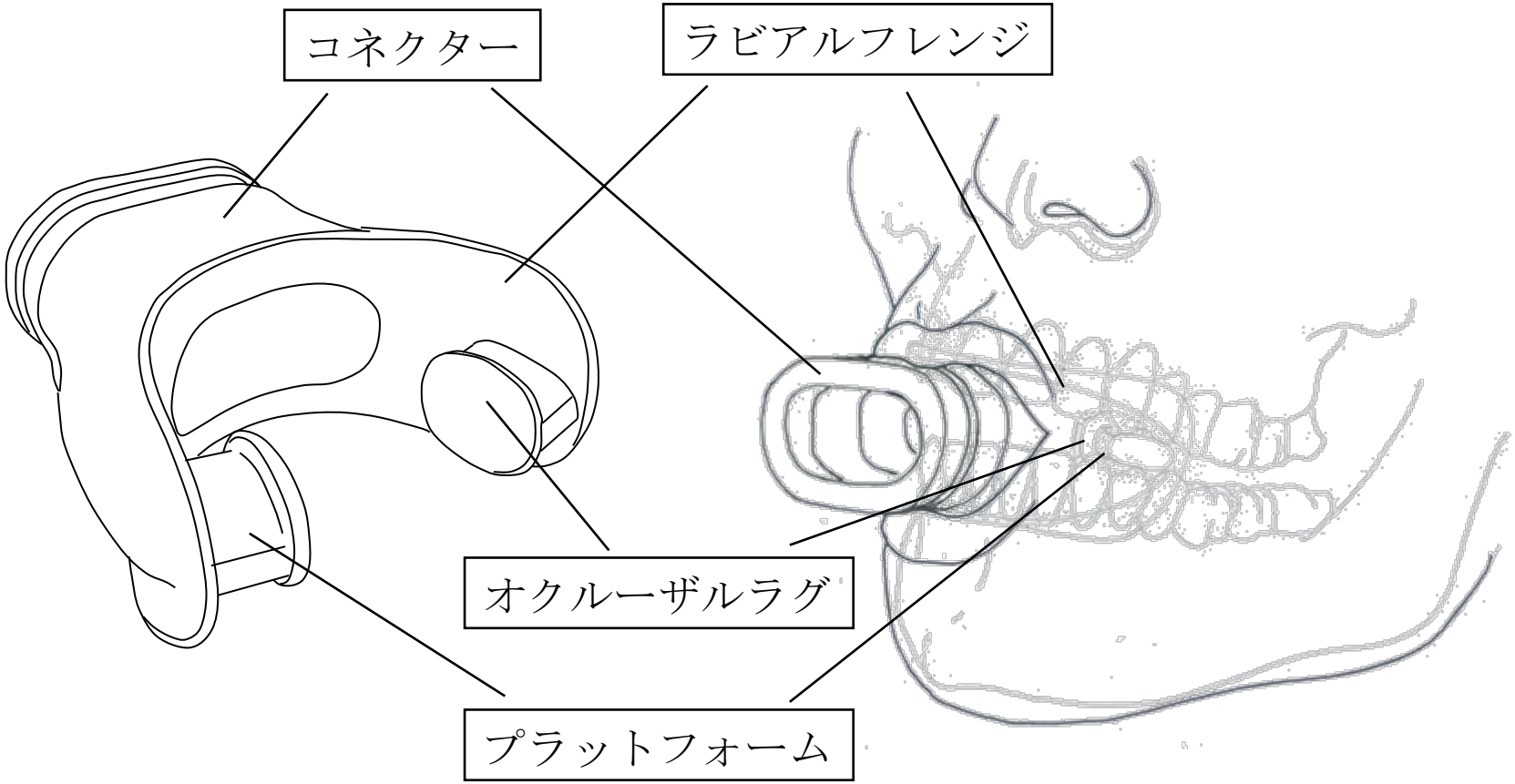


図1　一般的な形態を持つスキューバダイビング用マウスピースの各部名称と口腔内に装着した状態

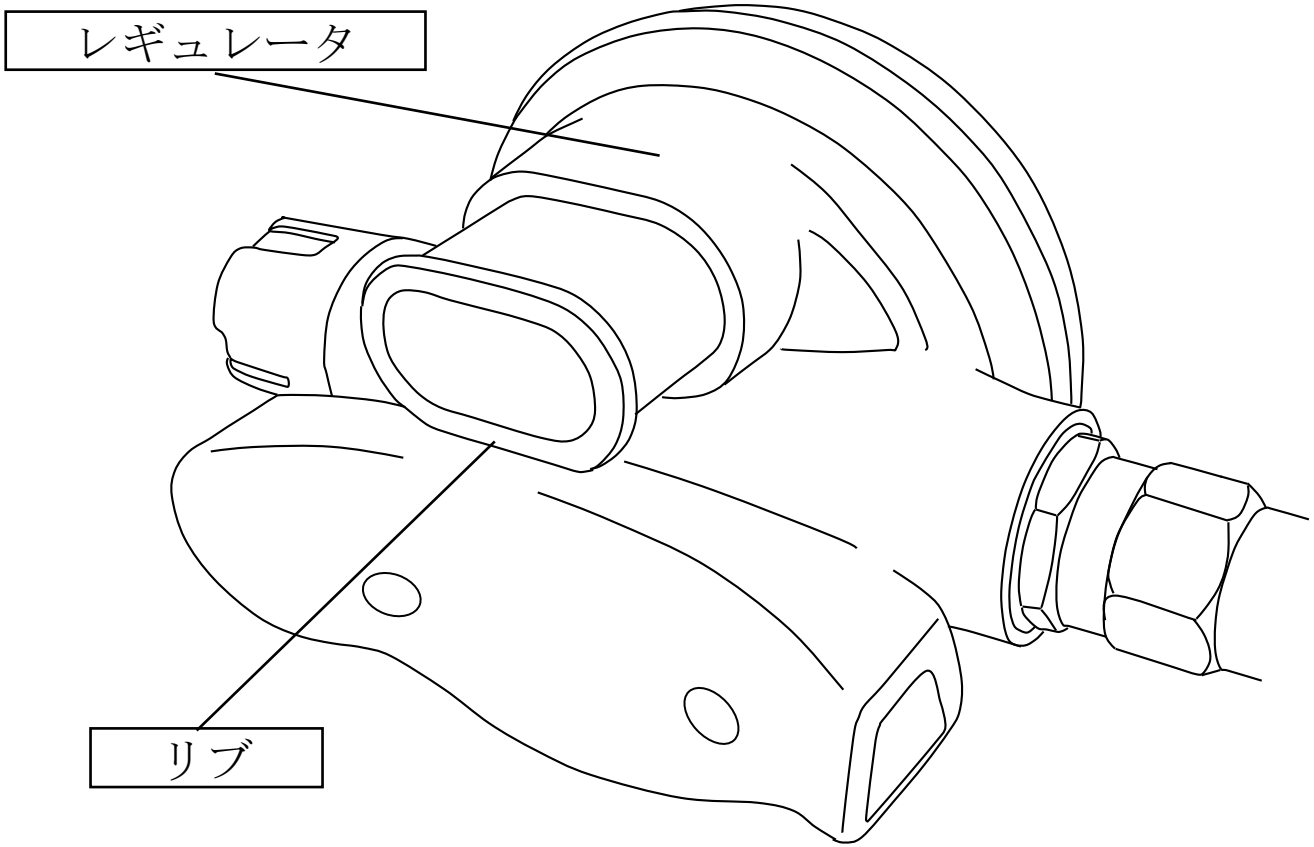


図2　レギュレータのリブ

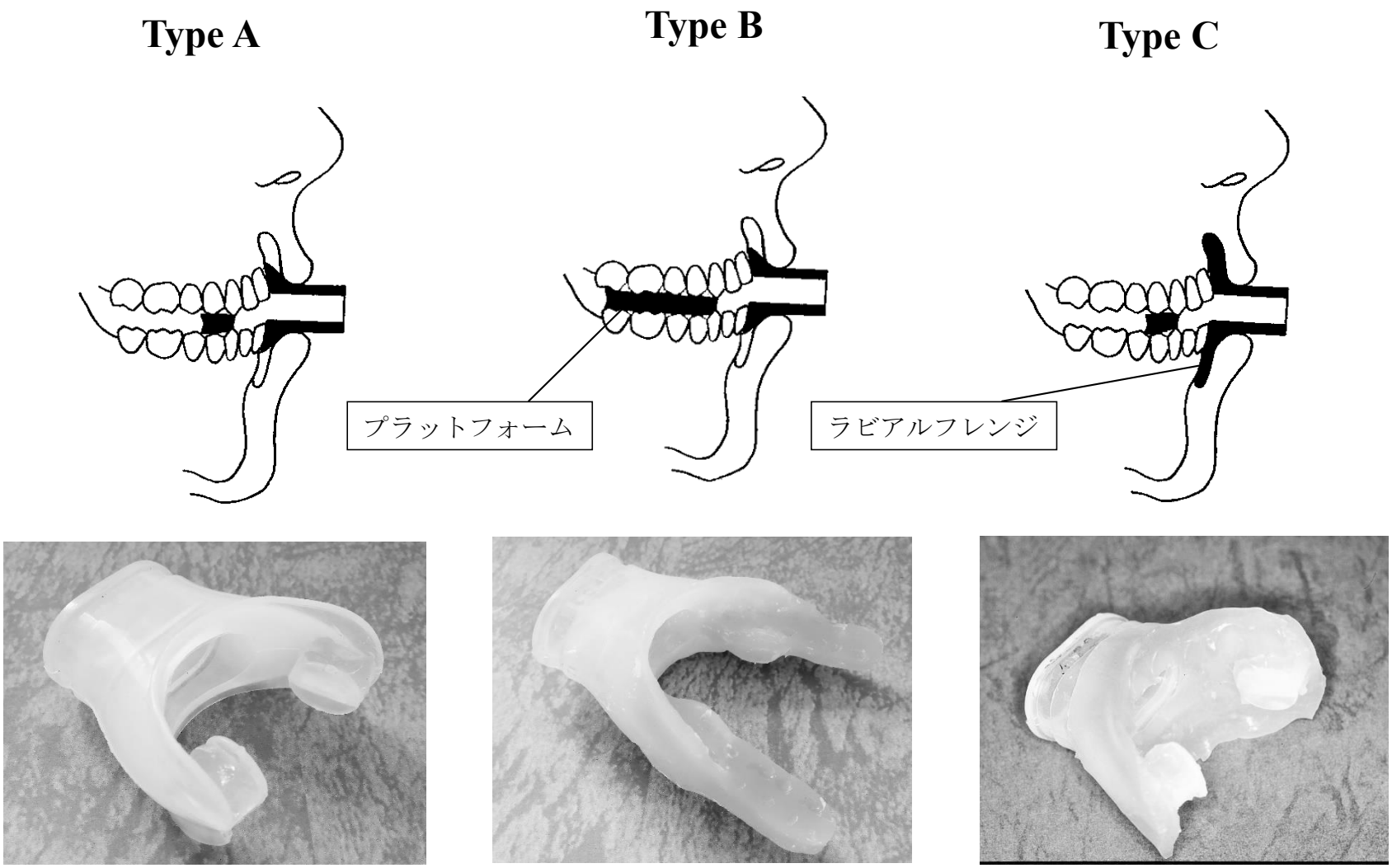
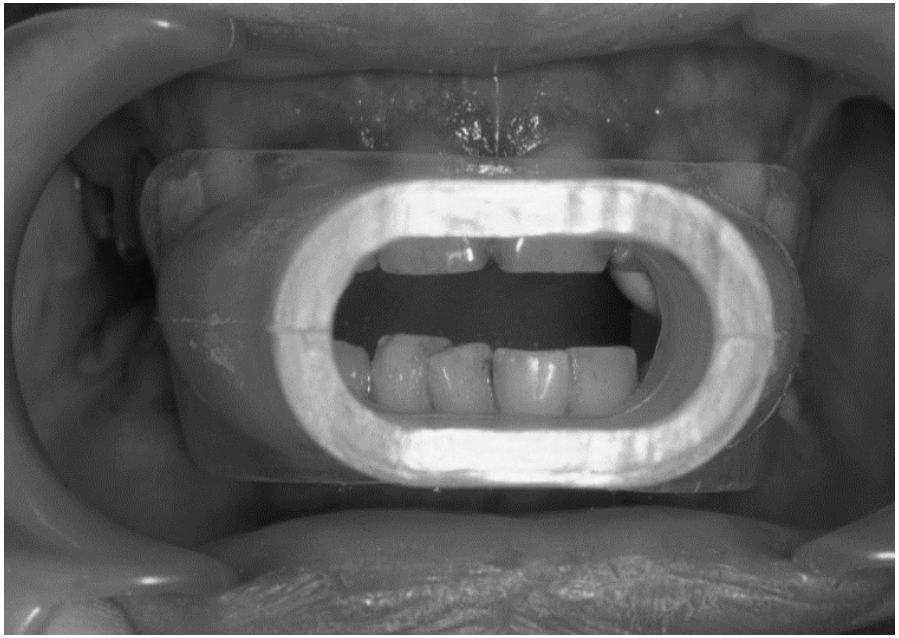


図3　実験Ⅰ，Ⅱで製作した実験用マウスピース



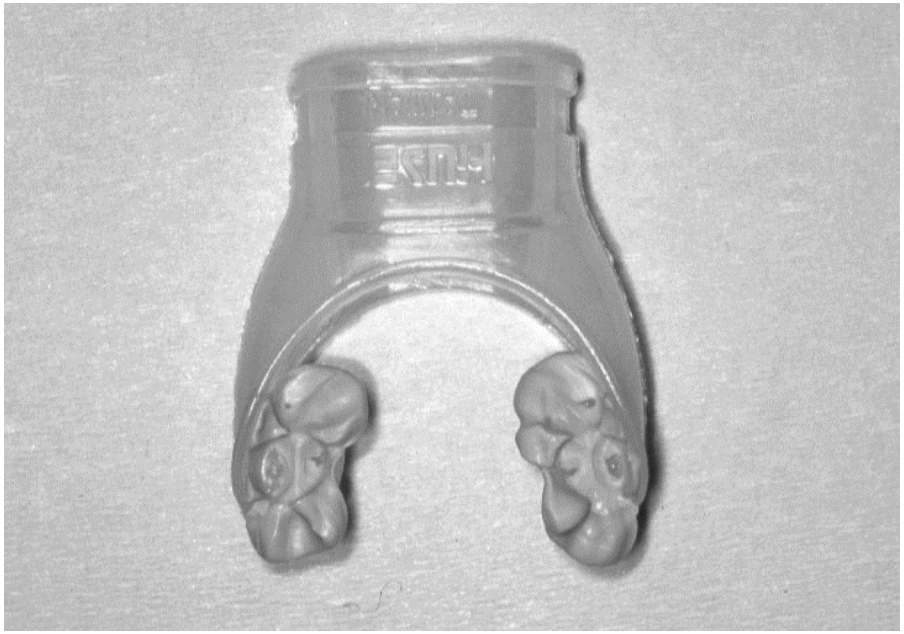


図4　マウスピースと上顎歯列との位置関係の記録

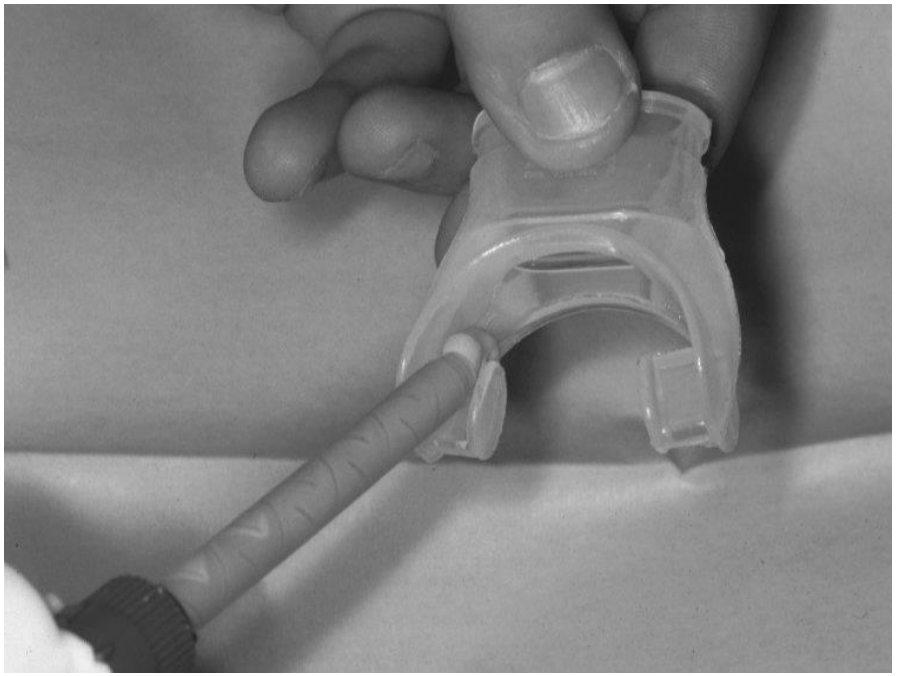


図5　下顎咬合面の記録と実験用マウスピース（Type A）

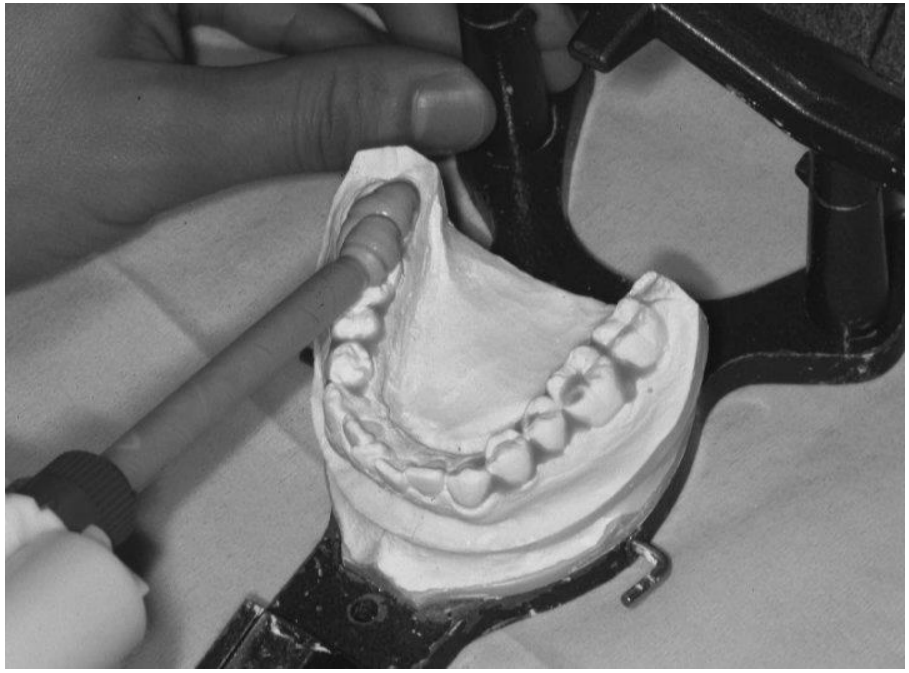
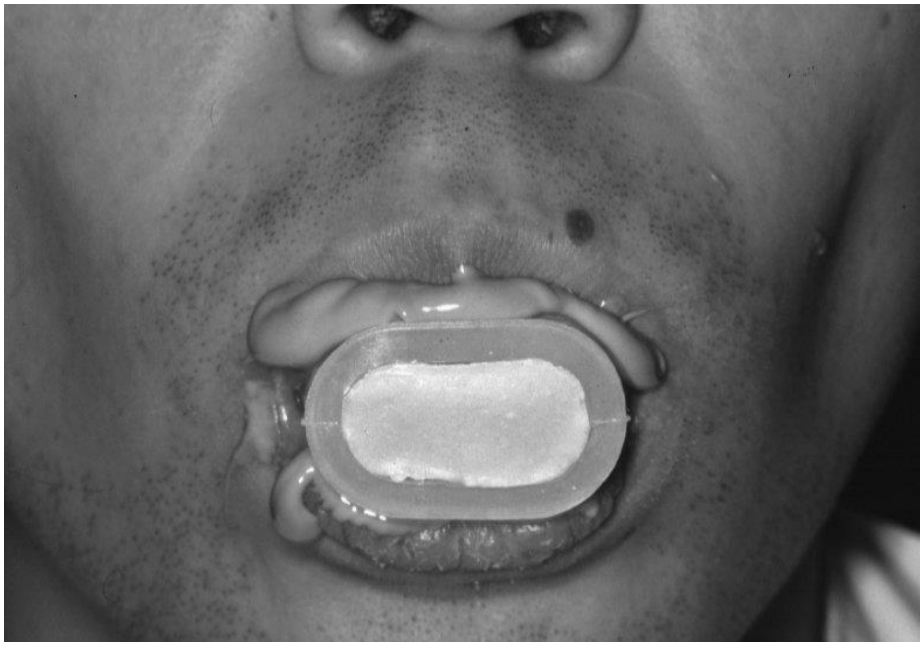


図6　プラットフォームの延長と実験用マウスピース（Type B）



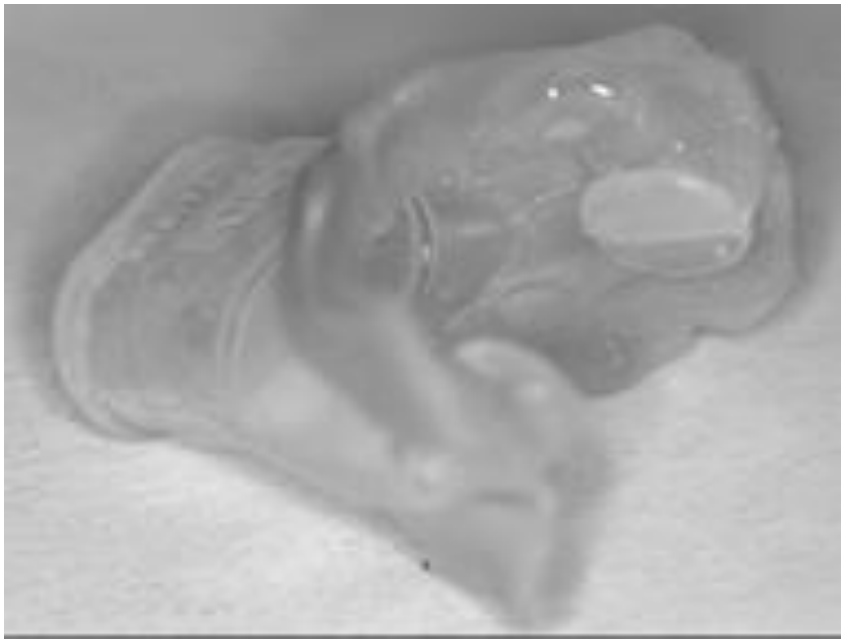


図7　ラビアルフレンジの拡大と実験用マウスピース（Type C）

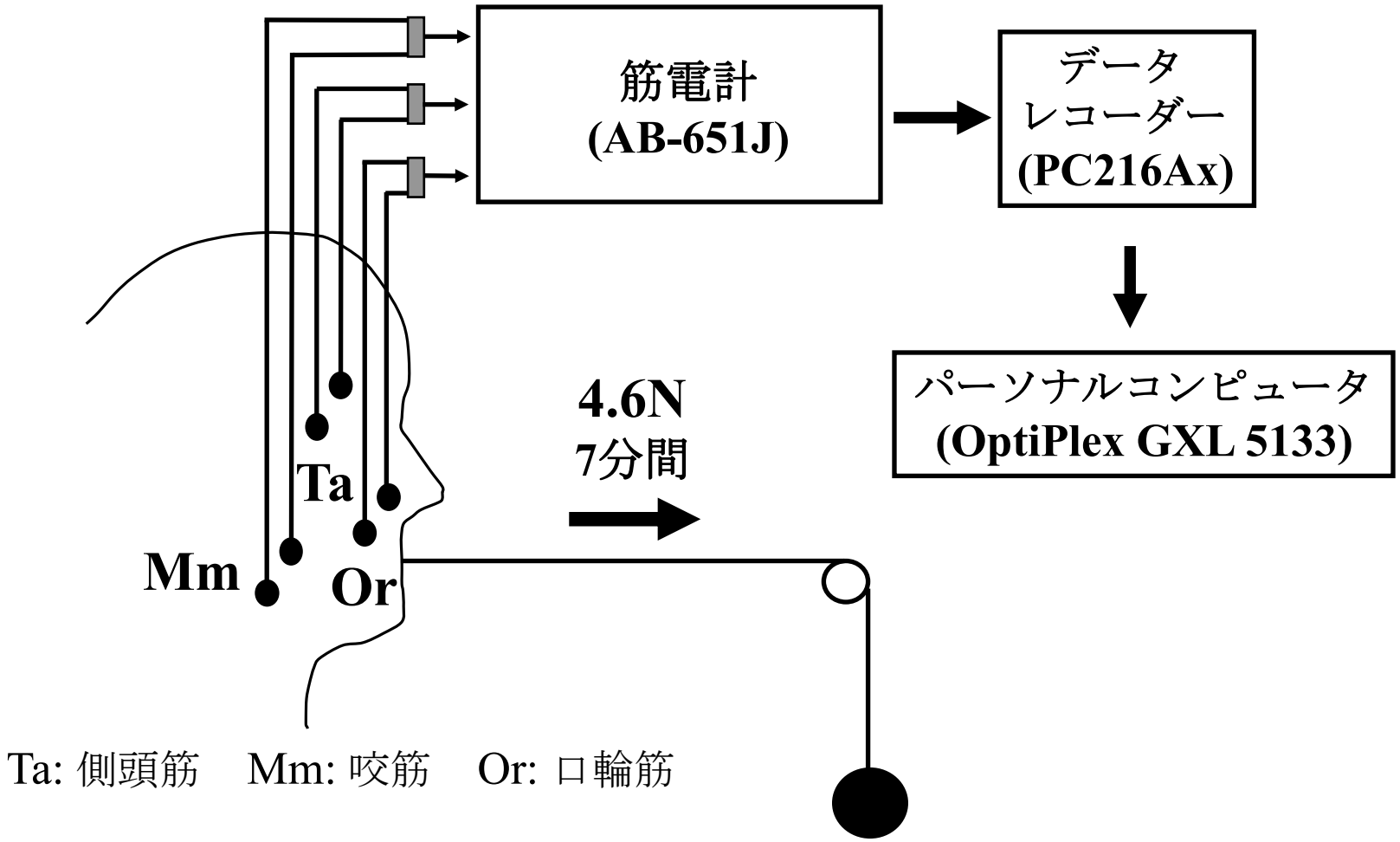


図8　活動電位の記録における実験条件

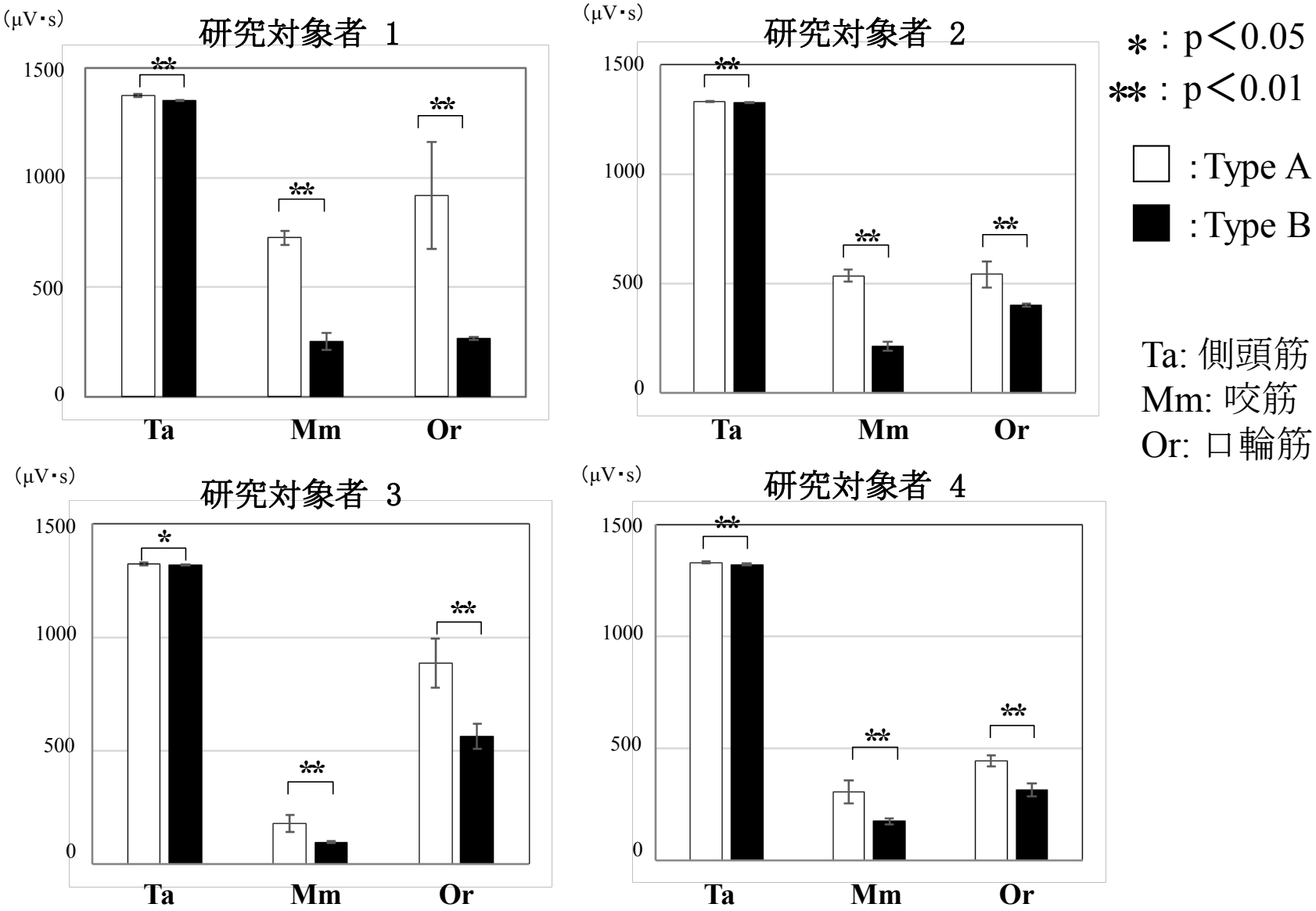


図9　Type Aとプラットフォームの形態を変化させた実験用マウスピースType Bを装着した状態での筋活動量の比較

各筋から得られた1分間の筋活動量の左右の平均を標本値とし，7分間の計測によって得られた標本数7の平均値と標準偏差

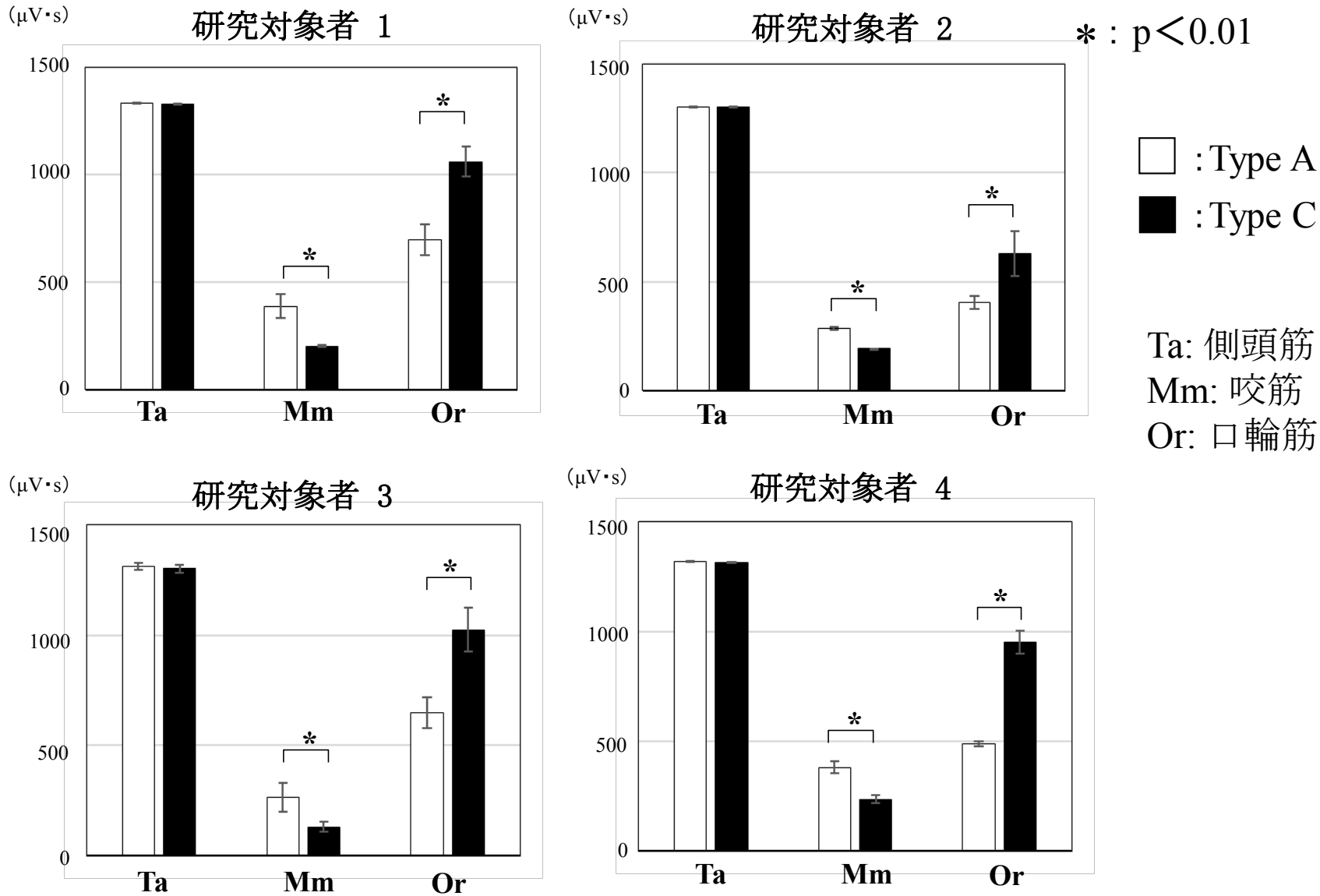
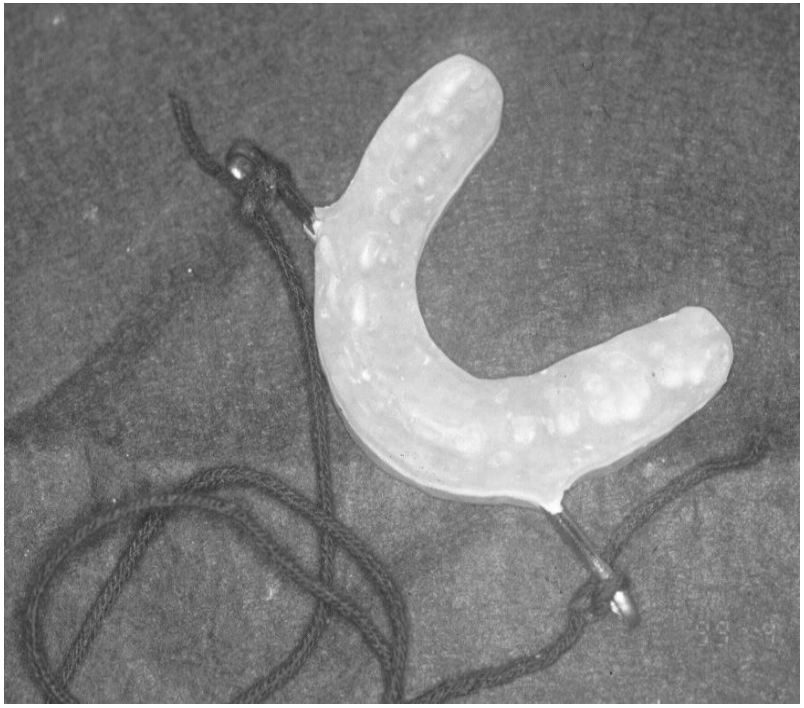


図10　Type Aとラビアルフレンジの形態を変化させた実験用マウスピースType Cを装着した状態での筋活動量の比較

各筋から得られた1分間の筋活動量の左右の平均を標本値とし，7分間の計測によって得られた標本数7の平均値と標準偏差



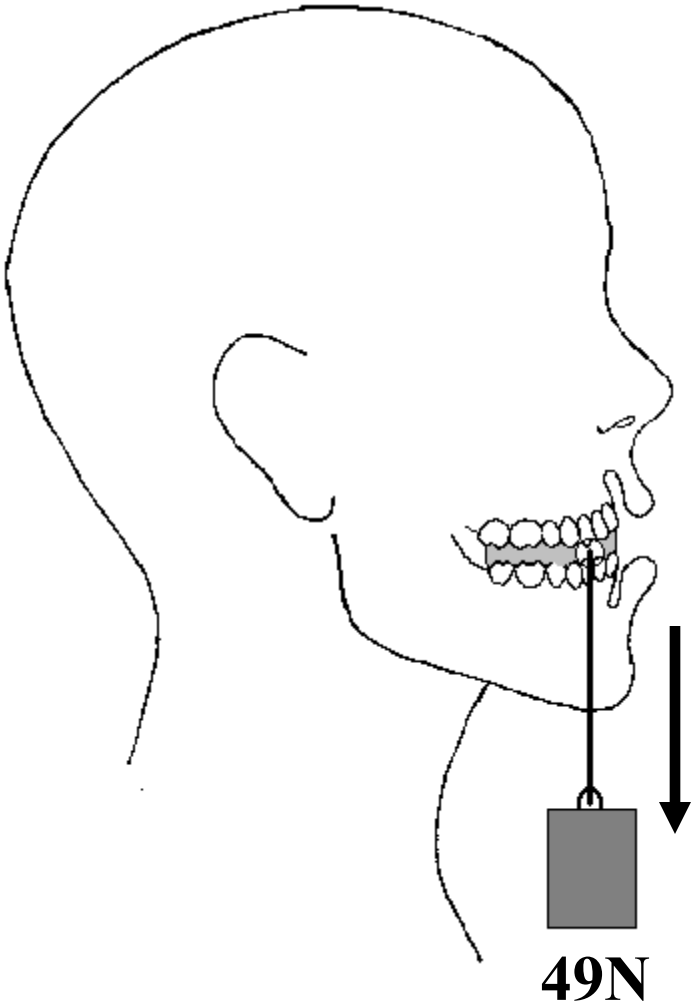


図11　咬合持続時間の計測に用いた下顎牽引装置（左）と荷重方法（右）

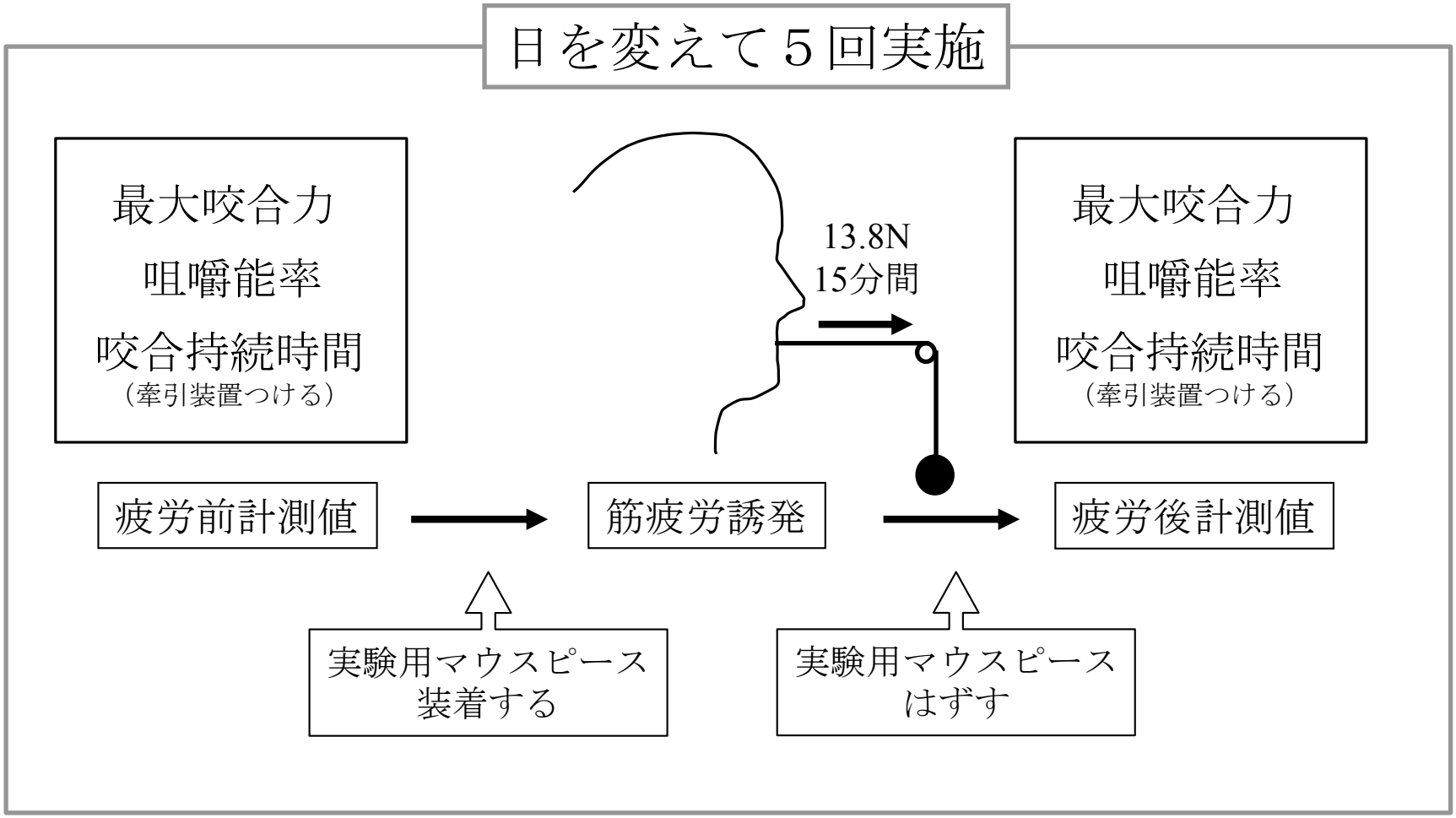


図12　筋疲労の評価における実験条件

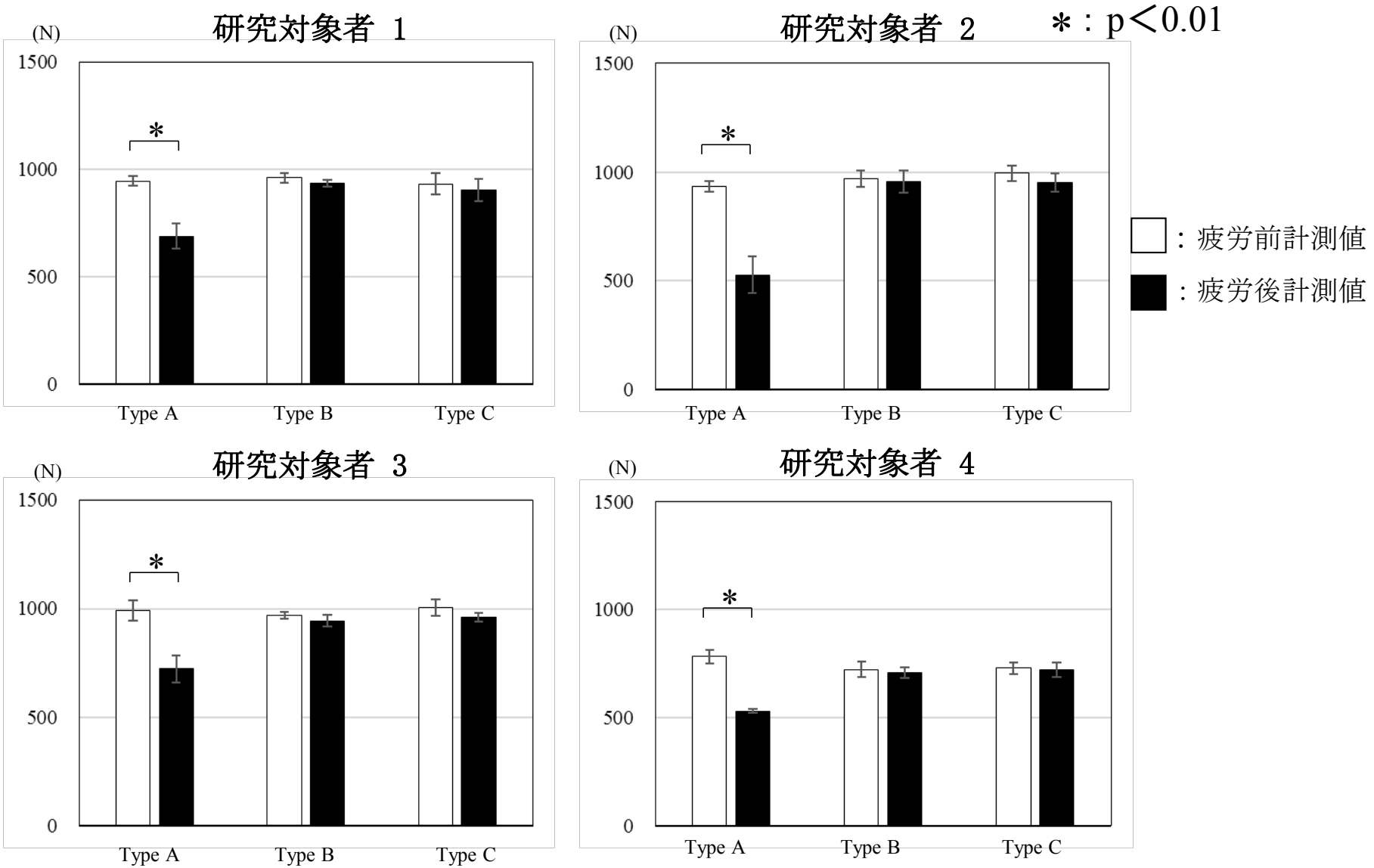


図13　それぞれのタイプのマウスピースにおける最大咬合力の比較
計測した最大咬合力5回の平均値と標準偏差

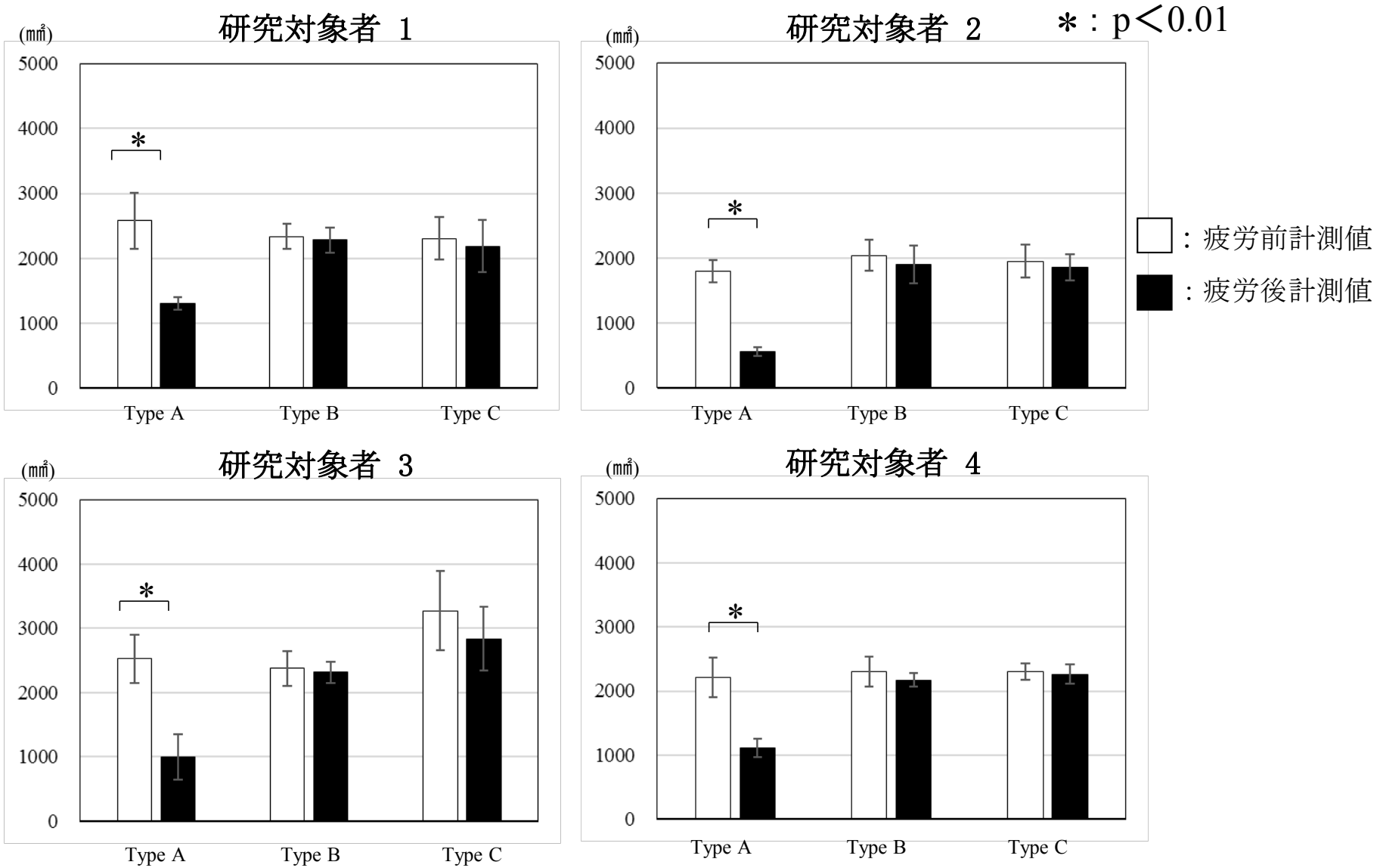


図14　それぞれのタイプのマウスピースにおける咀嚼能率の比較
計測した咀嚼能率5回の平均値と標準偏差

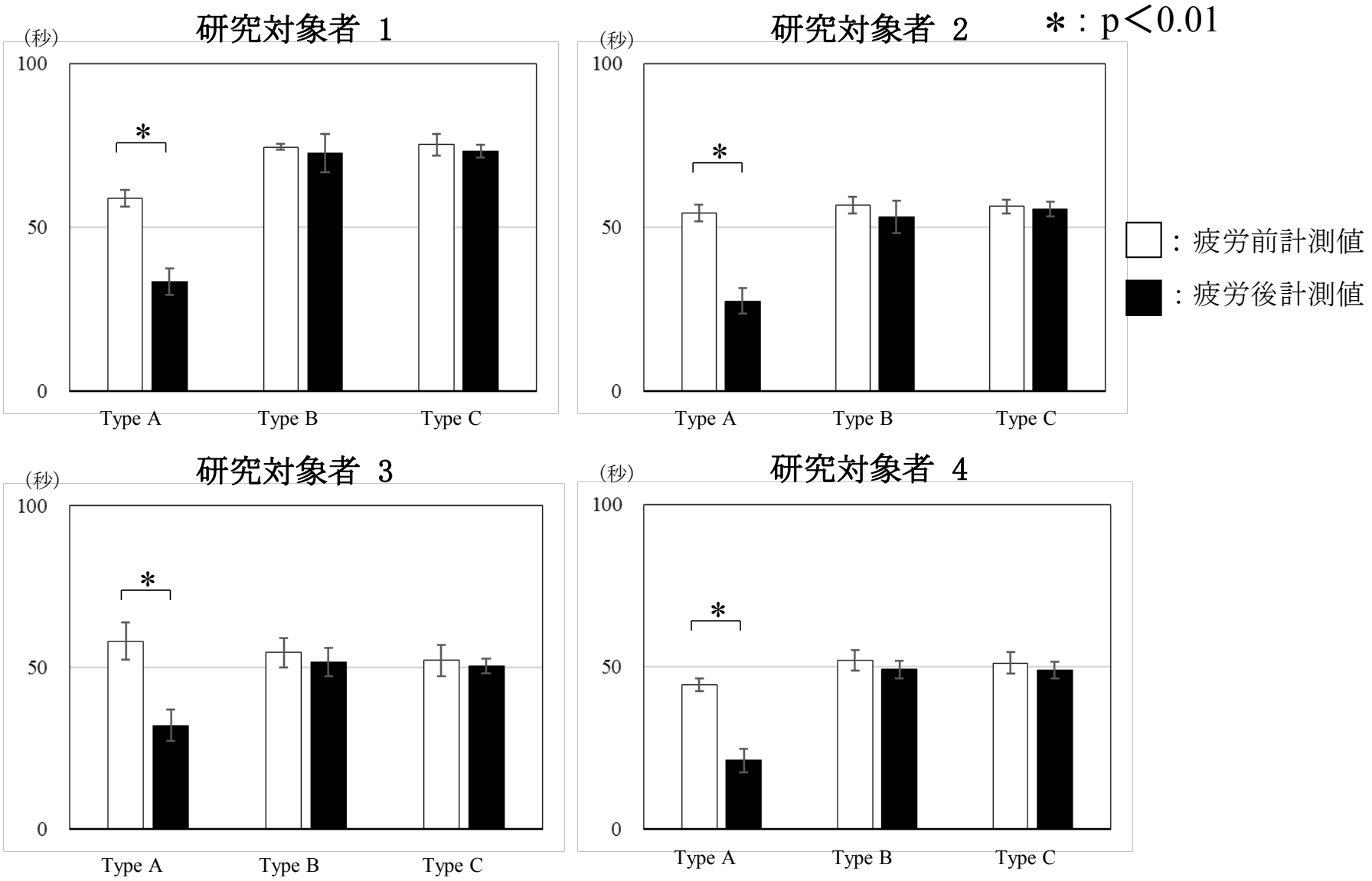


図15　それぞれのタイプのマウスピースにおける咬合持続時間の比較
計測した咬合持続時間5回の平均値と標準偏差

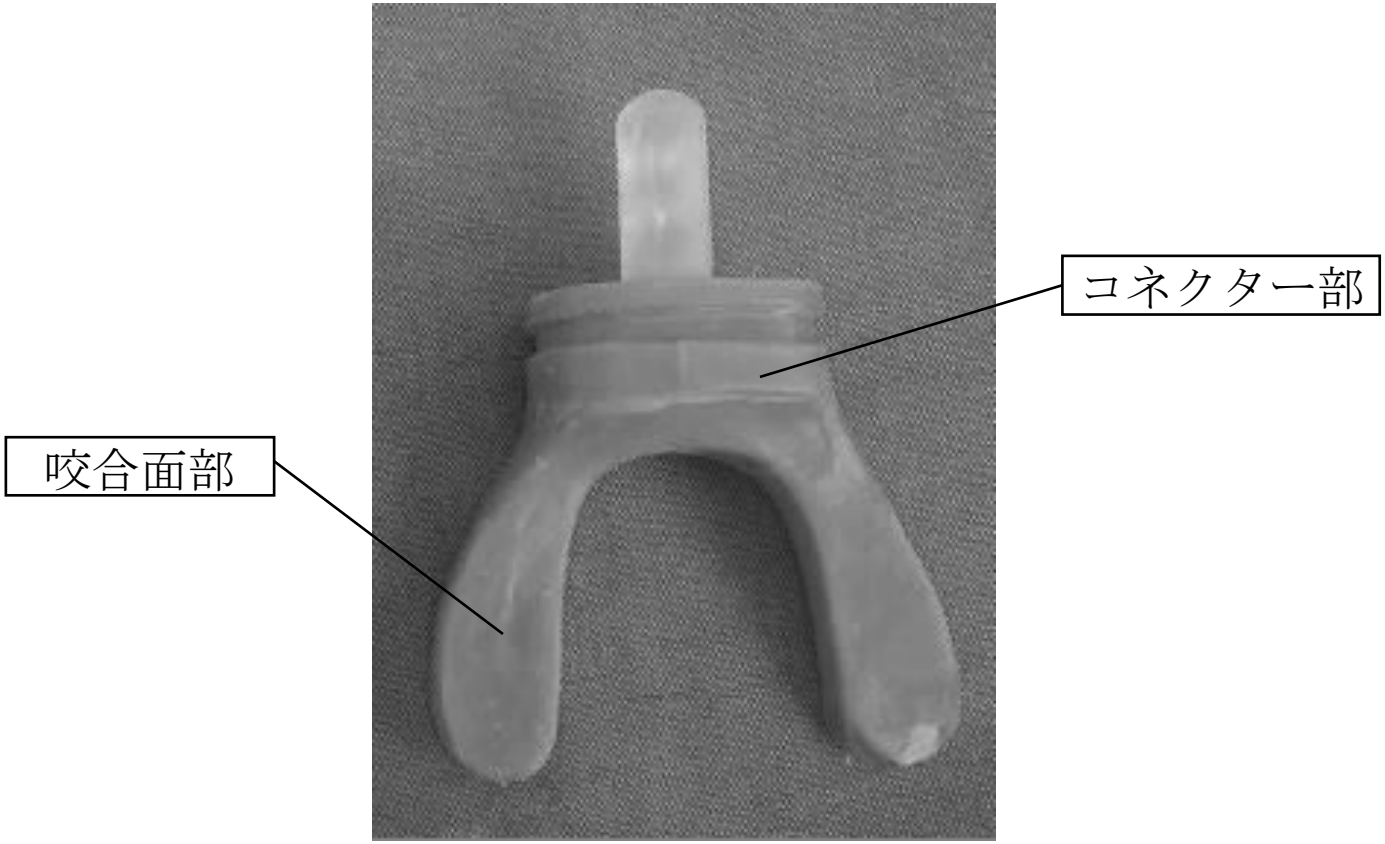


図16　咬合面部とコネクター部のワックスパターン

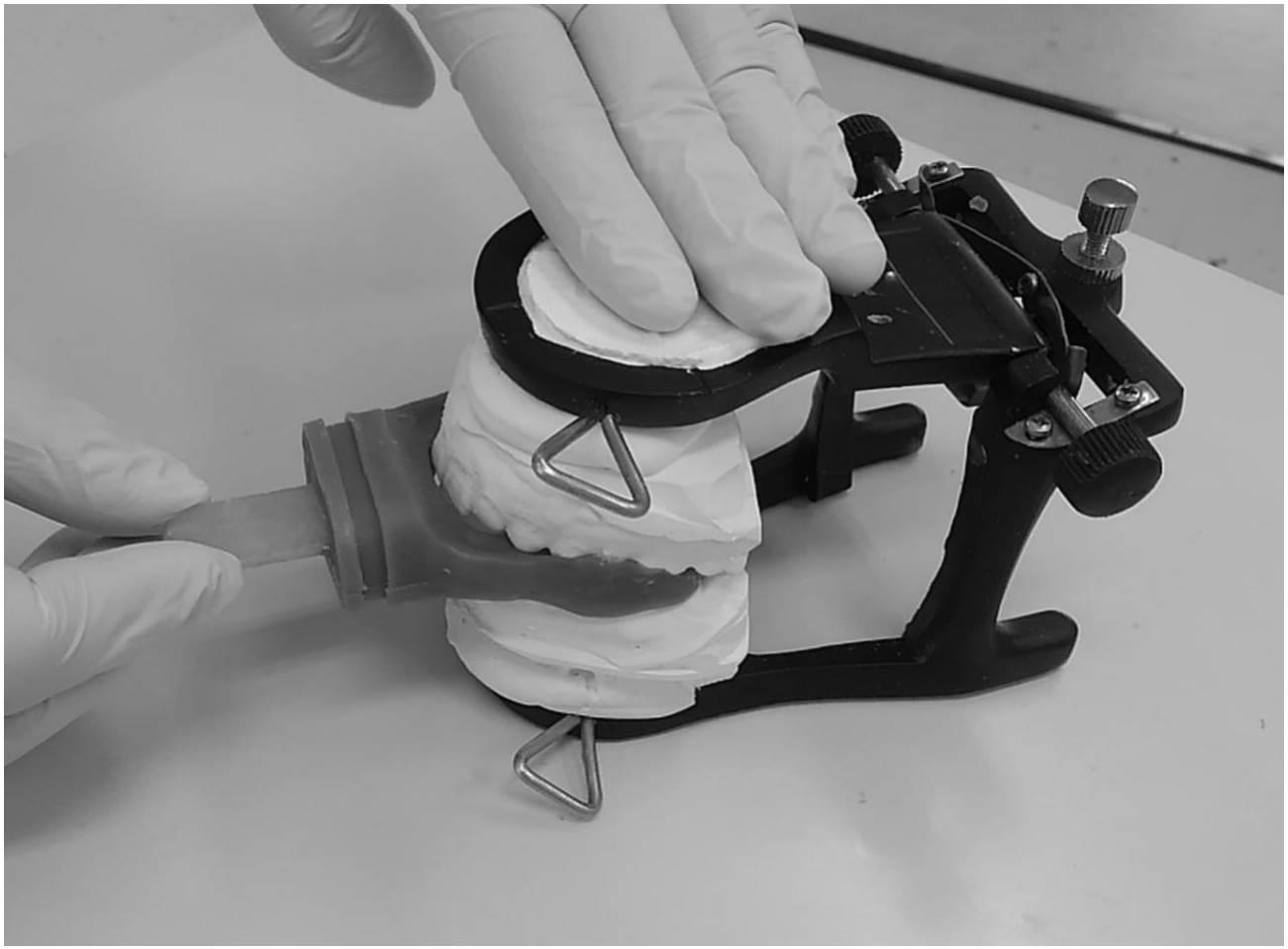


図17　ワックスパターンを歯列模型へ装着

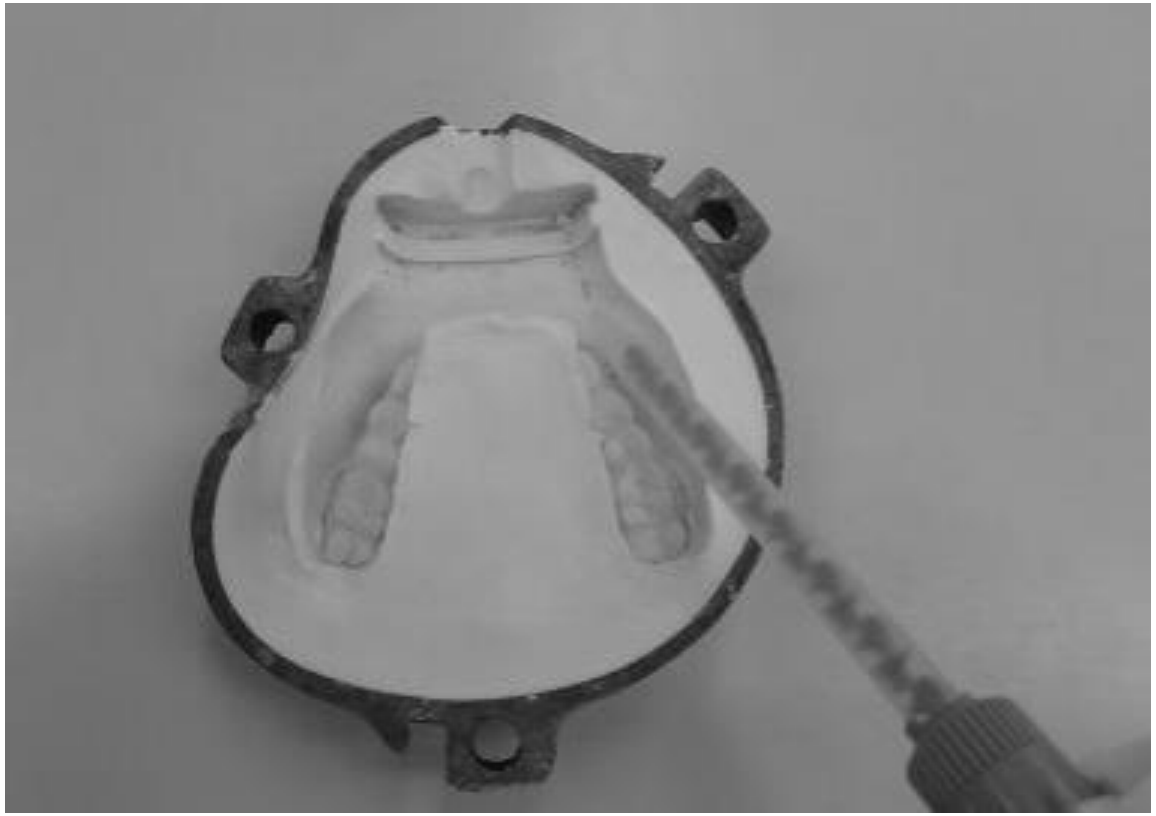


図18　シリコーンゴムの填入

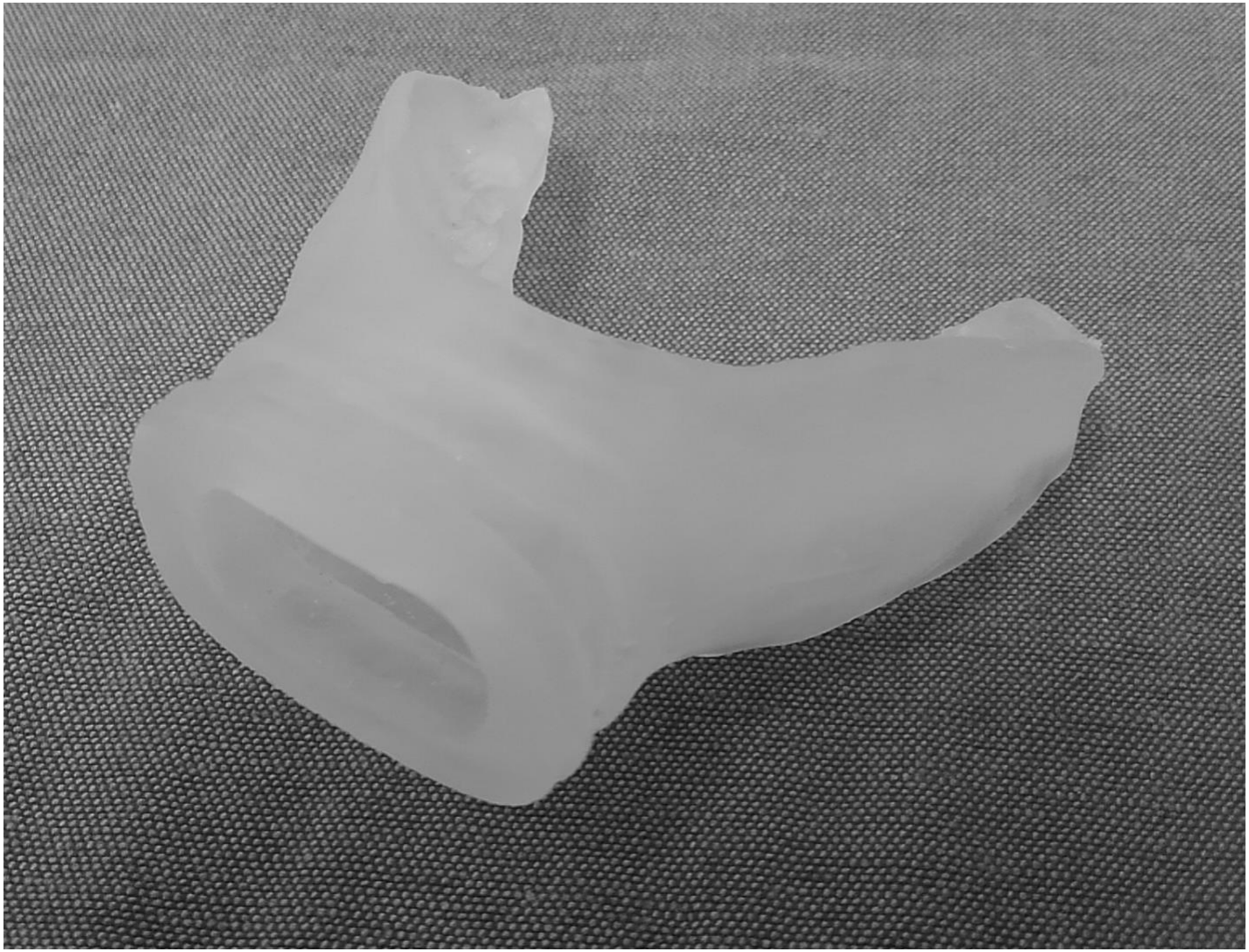


図19　完成したプラットフォーム延長ならびにラビアルフレンジ拡大を行ったカスタムメイドマウスピース

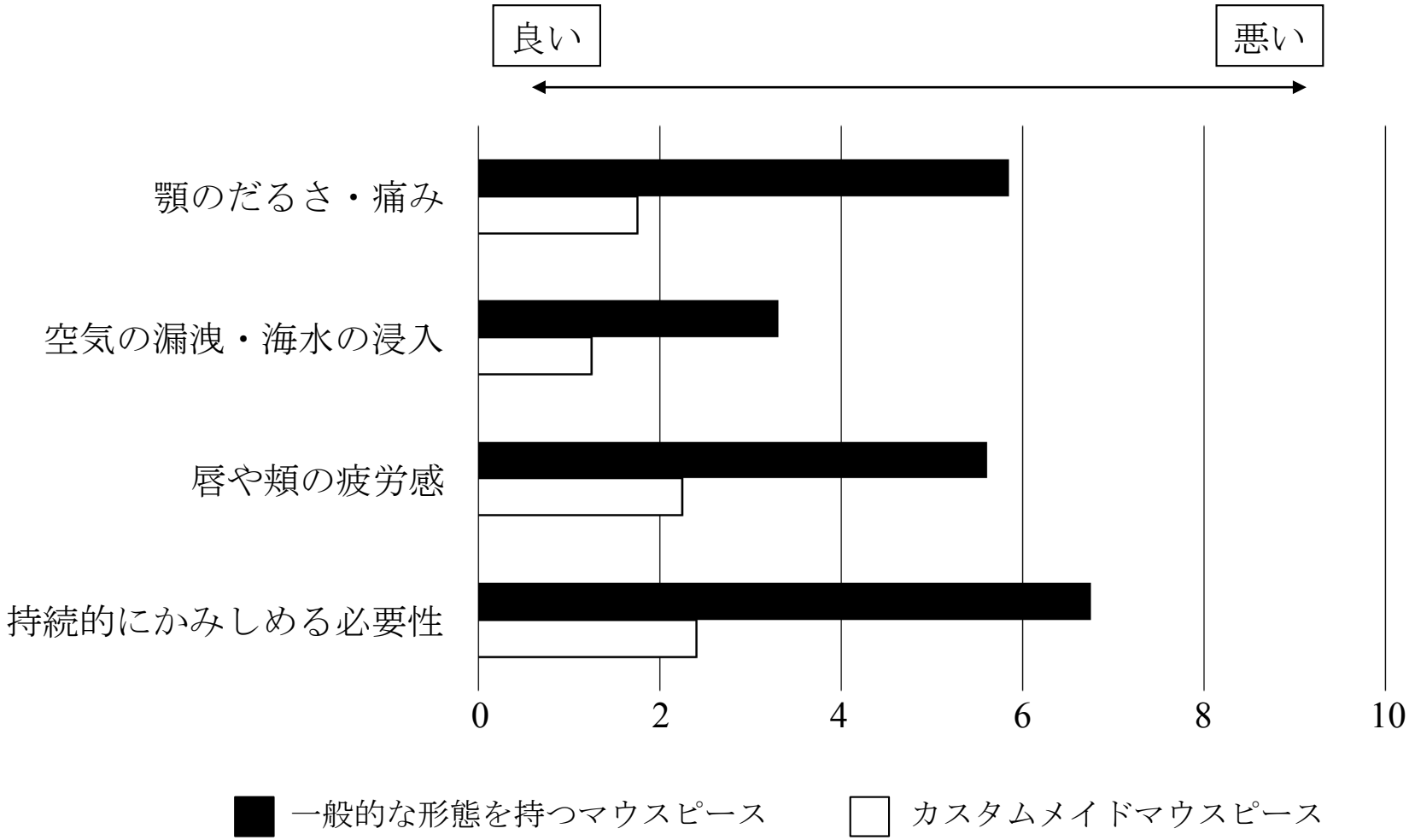


図20　一般的な形態を持つマウスピースとプラットフォーム延長ならびにラビアルフレンジ拡大を行ったカスタムメイドマウスピースとの評点の比較

表1　実験Ⅲにおける研究対象者

研究対象者番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
年齢	52	36	35	34	29	32	42	35	37	30
性別	男	男	男	男	女	女	男	男	男	男
ダイビング経験年数	33	15	20	5	6	6	5	17	20	11
ダイビング経験回数	10000	7000	7500	1500	700	400	300	800	5000	8000
月平均ダイビング回数	30	80	30	30	40	50	60	40	100	100

研究対象者番号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
年齢	39	38	41	34	48	37	20	33	31	48
性別	男	男	男	女	男	男	男	男	女	男
ダイビング経験年数	16	17	20	10	29	20	2	14	5	20
ダイビング経験回数	1000	10000	10000	5000	10000	10000	120	10000	200	300
月平均ダイビング回数	30	50	50	50	70	60	10	90	30	5