OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	インプラントオーバーデンチャー装着者の咬合力調節能力に関する検討
Author(s)	阿部, 舞美
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69497
rights	This is an open-access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License 4.0 (CCBY 4.0), which allows users to distribute and copy the material in any format so long as attribution is given to the Japan Prosthodontic Society. https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

学位論文

インプラントオーバーデンチャー装着者の咬合力調節能力に関する検討

大阪大学大学院歯学研究科
口腔科学専攻
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
阿部舞美

指導教員
大阪大学大学院歯学研究科
口腔科学専攻
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　准教授

緒言

下顎無歯顎患者に対する治療の第一選択として，世界的には，2 本のインプラントを支台として用いた可撤性義歯であるインプラントオーバーデンチャー(以下 IOD とする)が提唱され, コンセンサスが得られている [1,2]. 我が国においても，これらのコンセンサスを背景にその適応は増加している．IOD による治療の効果については，これまでにさまざまな観点から多数の報告がなされている．これらの報告は，患者の主観的な評価に基づくもの，客観的な評価に基づくものに分けられる. 患者の主観的な評価に基づく IOD による治療の効果については，患者満足度や QOL(Quality of Life)に関する報告がある．Kutkut らは，IOD による治療を行った患者は，従来の全部床義歯による治療を行った患者と比較して，患者満足度が高いことを報告している [3]. Sivaramakrishnan らは, OHIP(Oral Health Impact Profile)-49 を用いて調査を行った結果，IOD による治療が，全部床義歯による治療と比較して, 患者の口腔関連 QOL を向上させることを報告している [4]. Marcello-Machado らは，顎堤吸収の著しい患者は，IOD によって顎堤吸収の少ない患者と同程度まで総合的な満足度が上昇することを報告している [5]. これに対し，客観的な評価に基づく IOD による治療の効果については，インプラントによる直接的な効果や咀嚼機能，治療後のメインテナンスに関するものが報告されている．Kordatzis らは，IOD 装着者の 5 年後の下顎臼歯部の顎堤吸収量が全部床義歯装着者と比較して約 1 mm 少ないことから, インプラントによる顎堤吸収抑制効果について報告している [6]．また，Burns らは，IOD 装着者は，インプラントにアタッチメントを使用することで，全部床義歯装着者と比較して良好な維持力が得られることを報告している [7]．咀嚼機能に関する IOD の効果については，Fueki らは，従来の全部床義歯装着者と比較して IOD 装着者は，咀嚼能率が優れていると報告している [8]．また，Boven らは，全部床義歯から IOD

に変更することで，下顎無歯顎者の最大咬合力が増加し，咀嚼能率が向上することを報告している[9]. 治療後のメインテナンスについては, Kuoppala らは, IOD は可撤性の補綴装置であり，口腔外に取り出して清掃ができることから，固定性のインプラント支持補綴装置と比較して清掃が容易であり，清掃に要する時間が短いと報告している[10]．これらのことから，下顎無歯顎患者にとって，IOD による治療の効果は非常に大きいといえる．

その一方で，円滑な咀嚼運動を行うためには，歯根膜の感覚受容器からの情報に基づいた咬合力調節能力が非常に重要であると報告されている[11,12]．歯根膜に存在する感覚受容器は，歯に加わる触・圧刺激に応答し，食物の大きさ・硬さなどの性状を検知して中枢へその情報を送っていると考えられている．これらの情報は中枢で処理され，咀嚼筋活動を調節することにより，食物の性状に対応した適切な咬合力の発現に役立っているとされている[13]．Trulsson らは，硬さと表面性状の異なる試験食品を用いた咬合力測定装置と測定方法を考案して実験を行い，口腔内条件の異なる対象者の咬合力調節能力について多数の報告を行っている[14-19]．具体的には，歯根膜感覚を有する天然歯列者と歯根膜感覚のない上下全部床義歯装着者，上下インプラント支持固定性補綴装置装着者を比較して，咬合力調節能力について評価している．その結果，天然歯列者は，全部床義歯装着者やインプラント支持固定性補綴装置装着者と比較して，より小さな咬合力で食品を歯と歯の間で保持できると報告している．また，天然歯列者は，全部床義歯装着者やインプラント支持固定性補綴装置装着者と比較して，硬い食品を咬断するときに，より大きな速度で咬合力を増加させたことを報告している．すなわち，歯根膜からの食品の硬さや表面性状に関する感覚情報は，食品を歯と歯の間で保持し，巧みに取り扱う際の咬合力の大きさの微調節と，硬い食品に対して発揮する咬合力の増幅に関与していると報告している．

これら歯根膜は，歯冠が存在しない場合も大きな役割を果たす．実際，歯根膜の感覚を利用した治療法として，天然歯の歯根を支台としたオーバーデンチャーによる補綴歯科治療が行われている．この方法は，咬合力の負担能力に劣る残存歯の歯冠歯根比の改善，歯根による支持効果，抜歯による顎堤吸収の防止などを目的として適用されることが多い[20,21]．Mushimoto は，義歯床下で機能圧を負担するオーバーデンチャーの支台歯の圧覚が，咀嚼中の咬筋活動を促進させることを報告している[22]．また，Mericske らは，オーバーデンチャー装着者は，歯根膜感覚を有することで厚みの弁別能が優れていることを報告している[23]. これにより, オーバーデンチャーが歯冠歯根比の改善, 歯根による支持効果, 顎堤吸収の防止による義歯自体の安定性等の力学的な観点だけでなく，生理学的な観点からも優れていることを示した.

しかし，咬合力調節能力において重要な役割を果たすとされる歯根膜の感覚受容器は，抜歯により失われてしまう．天然歯における歯根膜の感覚受容に対し，インプラントの圧覚，咬合接触覚などの感覚能については，これまでに多数の報告がなされている．しかし，これらの報告の中には，インプラントの感覚能が天然歯より劣っていると報告するものもあれば[24,25]，天然歯と同程度と報告したものもあり[26-28]，統一した見解が得られていない．インプラントにもこのような感覚能が認められる理由として, Osseoperception と呼ばれる骨感覚受容がインプラントに存在する可能性が報告されている[29-34]．Osseoperception については，インプラント周囲の骨膜に存在する感覚受容器が応答するという説，インプラントを介して咬合力が骨に加わることで，骨伝導により筋紡錘や顎関節などの周囲の感覚受容器に伝わるという説，インプラントに接する骨に含まれている神経線維が知覚反応を司るという説など，複数の仮説がこれまでに考えられている[35]．しかし，その詳細なメカニズムについてはまだ明らかにされ

ていない．また，インプラントと可撤性義歯を組み合わせた補綴装置を有する IOD 装着者の感覚能について検討した報告は非常に少なく，まだ一定の結論は得られていない．たとえば，感覚能の中でも咬合力調節能力に関する Trulsson らの報告には，天然歯列者，天然歯を支台としたブリッジ装着者，上下全部床義歯装着者，上下インプラント支持固定性補綴装置装着者を対象としたものは存在するが，IOD 装着者を対象とした報告はまだない．前述した IOD の適応症例の増加を考慮すると，これらの患者における咬合力調節能力を明らかにする意義は非常に大きいといえる．

そこで，本研究では IOD 装着者の咬合力調節能力について，天然歯や他の補綴装置と比較することを目的に，天然歯列者，IOD 装着者，全部床義歯装着者について試験食品を前歯部で保持してから咬断するまでに生じる咬合力の変化を測定し，食品の硬さや表面性状に応じた咬合力発現様相について評価した．

方法

1． 対象者

本研究では，本研究の趣旨を理解し同意の得られた，大阪大学歯学部附属病院咀嚼補綴科に通院する, 上下天然歯列を有する患者群(以下 ND 群とする), 下顎無歯顎に対して IOD を装着した患者群(以下 IOD 群とする)，上下顎無歯顎に対して上下全部床義歯を装着した患者群(以下 CD 群とする)を対象とした. 本研究の ND 群，IOD 群，CD 群を以下，口腔内条件と定義する．本研究の対象者の包含基準は, 年齢については, 3 群いずれも 65 歳以上の高齢者とした. ND 群では, 全顎にわたりう蝕がなく, 歯周組織の状態に問題がない者とした. IOD 群と CD 群では, 現義歯を装着してから少なくとも 1 年以上経過している者とした．また，現義歯による疼痛がなく，適合，咬合，維持に問題のない者とした．3 群に共通する除外基準として，前歯部水平被蓋の絶対値が 14 mm 以上の者，顎関節症の者，認知機能に問題がある者，神経疾患を有する者，視覚・聴覚障害がある者，試験食品に対するアレルギーを有するものと設定した．また，CD 群の除外基準として，天然歯の歯根を有し，オーバーデンチャーを装着している者とした.

包含基準を満たした対象者の中から，除外基準に従い選択した結果，対象者は ND 群 19 名(女性 12 名，男性 7 名，平均年齢 70.0 歳，標準偏差 4.5 歳), IOD 群 14 名(女性 8 名，男性 6 名，平均年齢 73.4 歳，標準偏差 7.2 歳)，CD 群 14 名(女性 6 名，男性 8 名，平均年齢 80.7 歳，標準偏差 7.1 歳)の合計 47 名となった．IOD 群の対象者 14 名のうち，7 名が上顎前歯部に天然歯列を有し，7 名が可撤性義歯を装着していた．IOD 群のインプラントの本数については，2 本の者が 9 名，3 本の者が 3 名，4 本の者が 2 名であった．IOD 群で使用されているアタッチメントの種類については，磁性アタッチメントが 7 名，ロケ

ーターアタッチメント者が 4 名，ボールアタッチメントが 2 名，バーアタッチメント者が 1 名であった．また，IOD 群，CD 群の平均義歯使用期間はそれぞれ平均 5.8 年(標準偏差 3.3 年，最短 1 年，最長 12 年)，平均 3.5 年(標準偏差 2.0 年，最短 1 年，最長 8 年)であった．IOD 群，CD 群の義歯はレジン床義歯で，人工歯の種類は硬質レジン歯であった．各群の対象者の比較を表 1 に示す．

なお，本研究は大阪大学大学院歯学研究科・歯学部および歯学部附属病院倫理審査委員会の承認を得て行った(承認番号：H26-E2-2).

２．　測定装置

咬合力の測定には，小型 3 軸力覚センサ(USL06-H5-50N，テック技販，京都)を使用した(図 1-A)．本センサは，メーカーにより専用の校正装置を用いて実負荷校正が実施されており，その精度が検査成績書で保証されているため，本研究では校正実験を行わなかった．センサの大きさは一辺 20 mm の正方形で，厚みは 5 mm であった．センサ中央にはネジ孔(M3，深さ 4 mm)が存在しており，それにあわせて試験食品設置用の円形のプレートを製作し，設置した．プレートの大きさはセンサに合わせて直径 18 mm と設定した．プレートの厚みは厚いほど強度を確保することができ，咬合力が加わった際のたわみは少なくなるが，その分開口量が大きくなる．Morimoto らによると，開口の程度により厚みの弁別閾値が異なることが報告されている [36,37]．そのため，プレートの厚みは強度を保ちながら最低限の厚みとするために 1 mm と設定した(図 1-B).

咬合力の測定装置は，センサを設置する測定部と対象者が手で把持する把持部とに分けられる(図 1-C)．測定装置の大きさは，測定部ではセンサが収ま

るように縦 28 mm，横 28 mm，高さ 5 mm と設定した．把持部では先行研究での測定装置の大きさに基づき [19]，長さ 110 mm，幅 15 mm，高さ 15 mm と設定した．測定中の対象者の歯の位置を固定するために，測定部の裏面に直径 2 mm，長さ 18 mm の円柱状の金属棒を鑞着した．測定装置の材質については，先行研究ではプラスチック製であったが [15,17-19], 複数の対象者の口腔内で用いるため，高圧蒸気滅菌が可能で十分な強度のあるステンレス製とした．測定装置の重量は，本体とセンサをあわせて 60 g であった．測定装置の数は 1 台であり，全ての対象者に対して同一の測定装置を使用した．

センサに加えられた荷重は，専用アンプ(DPA-03A，テック技販，京都)を介して増幅し，パーソナルコンピュータ内の計測器(DSS300-U，テック技販，京都)に出力した．サンプリング周波数は，先行研究に基づき [19]，100 Hz と設定した．また，測定ごとに測定装置に試験食品を設置した後で，キャリブレーションを行った．

３．　試験食品

試験食品は，先行研究をもとに [19]，硬さと表面性状の異なるピーナッツ(こだわりのバタピー，セブン&アイ・ホールディングス，東京)とビスケット(MOON LIGHT，森永製菓，東京)を使用した．ピーナッツは硬く，表面性状は滑沢である．ビスケットは軟らかく，表面性状は粗造である．試験食品の大きさと測定装置への設置方法については，まずピーナッツは半分に分割してから胚芽を除去した．その後，底面が平坦になるように紙やすりを用いて研磨し，ビスケットの厚みと同じ 7 mm になるように調整した．そして，ピーナッツの長軸が前後方向になるように測定部のプレートに設置した．また，ビスケットは，1 枚のビスケットをセンサに接続した直径 18 mm のプレート

の大きさに合わせて，1 辺 12 mm の正方形になるように調整し，測定部のプレートの中央に設置した．

４． 測定方法

測定は，診療室の歯科診療台で行い，振動のない環境で行った．対象者の測定中の姿勢は座位で開眼状態とし，利き手で測定装置の把持部を把持させ，測定部の口腔内での設置位置は前歯部とした．測定部裏面にある金属棒を対象者の前歯部水平被蓋に応じて下顎中切歯の唇側面もしくは舌側面にあて，装置を固定した．対象者には測定装置を床と平行に保持するように指示し，毎回の測定開始前に測定装置の位置と試験食品の位置に問題がないかを測定者が確認した．測定装置を口腔内に設置した際の様子を図 1-D に示した．測定中のパーソナルコンピュータの画面が対象者から見えると結果に影響が生じる可能性があるため，パーソナルコンピュータを対象者から見えない位置に設置した．タスクは，先行研究をもとに，2 種類とした [19]．まず，対象者に，測定装置の測定部に設置した試験食品を上下中切歯の間で落下しない程度に必要最小限の力で 3 秒間保持するように指示した．この期間を保持相と定義した．その後，測定者の指示を受けてから試験食品をためらわずに咬断させた．この期間を咬断相と定義した．測定方法について対象者に対して十分に説明を行い，測定に慣れるために実際に試験食品を用いて複数回練習を行った．その後，2 つの試験食品を用いてランダムに 10 回ずつ測定し，後述する評価項目について，10 回の平均値を個人の代表値として分析に使用した．測定中に試験食品を落としたり，滑ったりした場合には，新しい試験食品を用いて再度測定を行った．測定が 5 回終了するごとに 5 分間の休憩をとり，疲労の回復を図るとともに，タスクの確認を行った．

５．　分析方法

図 2 にピーナッツを用いて測定を行った際に得られた各群の咬合力の時間経過の代表例を示す．先行研究をもとに [19]，保持相および咬断相の始点と終点を定義した(図 3)．保持相は試験食品と上顎中切歯が接触して咬合力が生じた時点を始点とし，試験食品を咬断する咬断相の開始までと定義した．本研究ではサンプリング周波数が 100 Hz のため，単位時間あたり，すなわち 0.01 秒あたりの咬合力の増加量が 5 N を超えた時点を咬断相の始点と定義した．咬断相の終点は，試験食品を咬断し，咬合力の大きさが 0N になった時点と定義した．

６．　評価項目の設定

試験食品を必要最小限の力で保持するためには，食品の硬さや表面性状，歯との接触状態を感知して，発揮する咬合力を小さく一定に保つことが重要である．そのため，保持相の咬合力の平均値を評価した(図 3)．また，食物を効率的に咀嚼するためには，食品の硬さを感知して，硬い食品に対しては瞬間的に咬合力を増加させて咬断する必要がある．一方，軟らかい食品に対しては硬い食品と同じ大きさまで咬合力を増加させることなく咬断することができる．そこで，咬断相の単位時間あたりの咬合力の増加量の最大値，すなわち咬合力増加速度を評価した．また，試験食品を咬断するのに要する時間，すなわち咬断相の持続時間を評価した(図 3-e)．そして，咬断相で生じる咬合力の最大値，すなわち最大咬合力を評価した(図 3-f)．これら 4 つの評価項目に対して次に示す分析を行った．

7．　統計学的分析方法

分析①　試験食品間，口腔内条件間における各評価項目についての差の検討

試験食品間ならびに口腔内条件間で，保持相の咬合力，咬断相の咬合力増加速度，持続時間，最大咬合力について差の検定を行った．試験食品間の比較には，Wilcoxon の符号付順位検定を用いた．口腔内条件間の比較には，Kruskal-Wallis 検定を用いた．有意水準はいずれも 5%とした．Kruskal-Wallis 検定で有意差を認めた場合には，Bonferroni 法による多重比較検定を行った．

分析②-1　年齢，性別，IOD 群の対合歯の条件と各評価項目間との関連についての検討

保持相の咬合力，咬断相の咬合力増加速度，持続時間，最大咬合力に関連のある項目を調べるために，年齢，性別，IOD 群の場合は対合歯の条件(天然歯もしくは義歯)について二変量間の分析を行った．年齢との関連を調べるために Spearman の順位相関係数の検定を用いた．性別，IOD 群の対合歯の条件による差については Mann-Whitney の U 検定を用いた．有意水準はいずれも 5%とした．

分析②-2　年齢，性別を調整したうえでの，口腔内条件と各評価項目との関連についての検討

年齢，性別を調整したうえでも，口腔内条件は咬合力調節能力と関連しているのかを検証するために，従属変数を保持相の咬合力，咬断相の咬合力増加速度，持続時間，最大咬合力とし，独立変数を年齢(連続変数)，性別(男性=0，女性=1)，補綴装置(参照カテゴリ=ND, IOD(1, 0), CD(0, 1))とし，強制投入法による重回帰分析を行った．有意水準は 5%とした．

なお，それぞれの分析には分析用ソフトウェア SPSS Version24 (IBM Japan, 東京)を使用した.

結果

分析①　試験食品間，口腔内条件間における各評価項目についての差の検討

保持相の咬合力の中央値は，ND 群，IOD 群，CD 群それぞれピーナッツでは 2.42 N, 2.32 N, 2.80 N であり，ビスケットでは 1.69 N, 1.61 N, 1.72 N であった．どちらの試験食品においても，保持相の咬合力について ND 群，IOD 群，CD 群間で有意差を認めなかった(図 4)．試験食品間の比較では，ND 群，IOD 群，CD 群いずれもピーナッツの保持相の咬合力はビスケットよりも大きく，有意差を認めた(図 5)．

咬断相の咬合力増加速度の中央値は，ND 群，IOD 群，CD 群それぞれピーナッツでは 292 N/秒，209 N/秒，223 N/秒であり，ビスケットでは 271 N/秒，184 N/秒，186 N/秒であった．咬断相の咬合力増加速度は，ピーナッツの場合で ND 群が IOD 群や CD 群よりも大きく，有意差を認めた(図 6-A)．ビスケットの場合では ND 群，IOD 群，CD 群間で有意差を認めなかった(図 6-B)．試験食品間の比較では，ND 群と IOD 群において，ピーナッツの咬合力増加速度はビスケットよりも大きく，有意差を認めた(図 7)．

咬断相の持続時間の中央値は，ND 群，IOD 群，CD 群それぞれピーナッツでは 0.63 秒，0.67 秒，1.30 秒であり，ビスケットでは 0.50 秒，0.56 秒，1.09 秒であった．咬断相の持続時間は 2 種類の試験食品どちらの場合も，CD 群が ND 群や IOD 群より長く，有意差を認めた(図 8)．試験食品間の比較では，ND 群, IOD 群, CD 群のいずれもピーナッツの持続時間はビスケットよりも長く，有意差を認めた(図 9)．

咬断相の最大咬合力の中央値は，ND 群，IOD 群，CD 群それぞれピーナッツでは 35.6 N, 30.0 N, 30.5 N であり，ビスケットでは 21.3 N, 24.2 N, 22.1 N であった．咬断相の最大咬合力は，2 種類の試験食品どちらの場合も，ND 群，

IOD 群，CD 群で有意差を認めなかった(図 10)．試験食品間の比較では，ND 群，IOD 群，CD 群いずれもピーナッツの最大咬合力はビスケットよりも大きく，有意差を認めた(図 11)．

分析②-1　年齢，性別，IOD 群の対合歯の条件と各評価項目間との関連についての検討

年齢，性別，IOD 群の対合歯の条件と各評価項目間との関連についての分析の結果，年齢は咬断相の持続時間と有意な相関関係を認めた(ピーナッツ：Spearman の順位相関係数 rs=0.387，p<0.01　ビスケット：rs=0.344，p=0.018，表 2)．保持相の咬合力，咬断相の咬合力増加速度と最大咬合力については，年齢と有意な相関関係を認めなかった．

性別については，どちらの試験食品でも，保持相の咬合力，咬断相の咬合力増加速度，持続時間，最大咬合力は，男女間で有意差を認めなかった(図 12)．

IOD 群の対合歯の条件については，ビスケットの咬断相の持続時間は，対合歯が義歯の方が天然歯よりも長く，有意差を認めた(図 13)．ビスケットに関する他の評価項目である保持相の咬合力，咬断相の咬合力増加速度と最大咬合力については，IOD 群の対合歯の条件で有意差を認めなかった(図 13)．ピーナッツの場合は，保持相の咬合力，咬断相の咬合力増加速度と最大咬合力のいずれも IOD 群の対合歯の条件で有意差を認めなかった(図 13)．咬断相の持続時間については，統計学的な有意差は認められなかったものの，対合歯が義歯の方が天然歯よりも長かった(p=0.053)．

分析②-2　年齢，性別を調整したうえでの，口腔内条件と各評価項目との関連についての検討

従属変数を保持相の咬合力，咬断相の咬合力増加速度，持続時間，最大咬合力とし，独立変数を年齢，性別，補綴装置とした強制投入法による重回帰分析の結果，年齢，性別を調整したうえでも，ピーナッツでは，咬断相の咬合力増加速度が, IOD と CD は ND に比べて小さく, 有意な関連を認めた(IOD: 標準化偏回帰係数 β=-0.424, p=0.008，CD：β =-0.460, p=0.016, 表 3)．また，咬断相の持続時間については，CD は ND と比べて長く，有意な関連を認めた(ピーナッツ：β=0.708, p<0.001　ビスケット：β=0.825,　p<0.001, 表 3)．しかし，下顎の補綴装置は，保持相の咬合力，咬断相の最大咬合力，ビスケットの咬断相の咬合力増加速度と有意な関連を認めなかった.

考察

1．　実験方法について

1）　対象者について

本研究の対象者は 65 歳以上の高齢者とし，3 群の年齢の差を可能な限り小さくするように努めた．しかし，CD 群は ND 群と比較して年齢が高く，統計学的な有意差を認めた．そのため，本研究では，年齢の違いによって生じる差についても考慮して統計学的な分析を行った．性別については，女性 26 名，男性 21 名と女性の方がやや多かった．また，口腔内条件間で対象者の男女の比率は異なっていたが，統計学的な有意差は認めなかった．Shiga らは，口腔機能と性別の関連について，最大咬合力は男性の方が女性と比較して約 1.2 倍大きく，有意差を認めたことを報告している．咀嚼能率についても，男性の方が女性よりも高く，有意差を認めたこと報告している[38]．また，感覚閾値に関しては，電気刺激や温度刺激に対する感覚閾値，触覚閾値について性差が報告され，男性の方が女性よりも感覚閾値が高いとの報告があることから[39-42]，本研究では性差も考慮して統計学的な分析を行った．IOD 群で使用されるアタッチメントは，対象者により異なっていた．アタッチメントの種類によって維持力は異なるが，維持力が発揮されるのは開口相であり，本研究では閉口相における比較を行っているため，アタッチメントの違いによる影響は少ないと考えられる．IOD 群と CD 群の現義歯については，現義歯に対する慣れや巧緻性を考慮し，装着してから少なくとも 1 年以上経過したものを対象とした．平均義歯使用期間は，IOD 群，CD 群間で有意差を認めなかったものの，IOD 群の方が CD 群よりも約 2 年長かった．使用期間が長くなれば，義歯の慣れによる影響が考えられる．そこで，IOD 群と CD 群の対象者に対して，従属変数を咬断相の持続時間，独立変数を年齢，

性別，下顎の補綴装置，平均義歯使用期間とした重回帰分析を行った．その結果，どちらの試験食品についても，咬断相の持続時間は，下顎の補綴装置と有意な関連を認め，平均義歯使用期間とは有意な関連を認めなかった(表4).

また，対象者には除外基準を設定した．まず，水平被蓋の絶対値が 14 mm よりも大きい者は，上顎中切歯が試験食品の中心に接触するように咬合した際に下顎中切歯が測定装置の前後にずれ，試験食品を保持して咬断することができないため，対象者から除外した．顎関節の感覚受容器や咀嚼筋中の筋紡錘も咀嚼を行ううえで重要な役割を果たしているという報告があることから [43-46]，咀嚼筋痛も含め，顎関節症状を有する者は対象者から除外した．また，神経疾患等により手指に振戦を有する者は，測定装置を手で安定した状態で把持しておくことが困難であり，正確な咬合力の測定が行えないため，対象者から除外した．認知機能に問題がある者は，測定者の指示を理解できない可能性があるため除外した，また，視覚・聴覚障害がある者も，測定者の指示が伝わらない可能性があるため除外した．さらに，CD 群では，天然歯の歯根を支台として用いたオーバーデンチャー装着者は，歯根膜感覚を有することにより，生理学的にも優れているという報告があることから [22,23]，対象者から除外した．

２）　試験食品について

試験食品には，先行研究をもとに，硬さと表面性状の異なるピーナッツとビスケットを選択した [14,18,19]．これまで，咀嚼機能検査に使用する食品については多くの検討がなされているが，ただ一つの食品で全てを代表できるようなものはないとされている．内田らは，食品摂取状況調査表により求めた

咀嚼能力と，咀嚼能力に関連すると考えられる因子との関係から，咀嚼能力の回復を評価するために適した食品の検討を行った[47]．その結果，全部床義歯装着者の咀嚼能力の変化を評価するのに適した食品は，被粉砕性，被切断性の食品であることを報告している[47]．また，神山らは，ナッツ類は，硬くて歯による破砕に大きな力を必要とするが，一咬みして破砕された後は大きな咬合力は必要なくなると報告している[48]．本研究においても，試験食品を咬断する際に発揮される咬合力を評価するためには，ピーナッツやビスケットのような被粉砕性の食品が適していると考えられる．ピーナッツはこれまでに篩分法等の咀嚼能率測定における試験食品として広く用いられてきた食品であり，簡単に入手することのできる食品である[49,50]．しかし，ピーナッツは天然食品であるため規格化されておらず，大きさや硬さ，乾燥程度が異なることが欠点として考えられる[51,52]．そこで本研究では，ピーナッツの底面を紙やすりで平坦にするとともに，厚みを均一にし，さらに測定を複数回行うことにより，試験食品の個体差の影響を可能な限り少なくするようにした．また，試験食品の保管については，ピーナッツは密封が可能な容器に乾燥剤を入れて保管した．また，ビスケットは個包装されているためそのまま保管した．可能な限り試験食品の性状を変化させないために，使用する試験食品は実験当日に必要な分だけ包装から取り出し，大きさや厚みを調整した．

３）　測定方法について

天然歯やインプラントの感覚能については多数の報告があり，その中にはインプラントの感覚能が天然歯より劣っていると報告するものもあれば[24,25]，天然歯と同程度と報告したものもある[26-28]．その理由として，測定方法

が異なることや, 測定条件と対象者の条件の統一が難しいことが考えられる.

天然歯の歯根膜やインプラントの感覚能の測定方法は, 主に神経生理学的な方法と精神物理学的な方法に分けられる. 神経生理学的な方法には, 三叉神経体性感覚誘発電位(Trigeminal Somatosensory Evoked Potential, 以下 TSEP)[53-55]を用いた方法, 磁気共鳴機能画像(functional magnetic resonance imaging, 以下 fMRI)を用いた方法[56]がある. TSEP を用いた方法では, 電極から電気刺激を行い, 三叉神経の反応を頭皮上に装着した電極から記録する方法である. TSEP を測定する方法では専門の知識と技術, 設備を必要とするため, 咀嚼や咬合力調節能力に関する研究や報告は少ない. fMRI は, 非侵襲的に脳活動を画像化する方法であるが, 大規模な設備が必要であることが欠点である. その一方で, 精神物理学的な方法には, 圧覚, 咬合接触覚(厚みの弁別閾値), 触覚, 振動覚, 硬さ弁別能検査など様々な方法がある. これらの方法の中でも, 特に圧覚と咬合接触覚については多数の報告がある[32]. 圧覚は, 刺激装置を用いてインプラントや歯に圧力を加えたときに認識し始める最小の圧力とされる[32]. 咬合接触覚は, 薄い金属箔を噛んだときに認識し始める最小の厚みとされる[32]. 圧覚・咬合接触覚の試験に関しては, 単冠のインプラント支持補綴装置を対象とした報告がほとんどであり, 対象者を IOD 装着者としている報告は少ない[23,57-61]. 対象者を IOD 装着者とした報告の中で, Jacob らは, 天然歯列者と IOD 装着者の圧覚について調べた結果, 天然歯と比較してインプラントの圧覚閾値は約 50 倍であったと報告した[57]. Mericske らは, IOD 装着者と天然歯を支台としたオーバーデンチャー装着者の圧力閾値と厚みの弁別閾値を比較し, オーバーデンチャー装着者の方の閾値が低く, 有意差が認められたことを報告した[58,59]. その一方で, Batista らは, 全部床義歯装着者, IOD 装着者, インプラント支持固定性補綴装置装着

者，天然歯列者について厚みの弁別閾値を比較した．その結果，固定性もしくは可撤性のインプラント支持補綴装置は天然歯と同程度の触覚閾値を示すと報告した[60]．しかし，これらの報告の中には，対象者の年齢が補綴群と天然歯群で大きく異なっているものがみられた[57,60]．さらに，これらのうち圧覚について調べたものは，義歯を外した状態でインプラント単体の圧覚を調べた報告であり[58]，IOD 装着者の感覚というよりもインプラント自体の感覚能を調べたものであると考えられる．咬合接触覚の試験については，インプラントの埋入位置が前歯部であるにも関わらず，臼歯部人工歯同士で測定したものがみられた[59,60]．また，Jang らは，咬合接触覚は，中心咬合位における咬合接触状態によって異なり，インプラント支持補綴装置の咬合調整方法により結果が異なる可能性を報告している[61]．たとえば，対合歯間に微細な空隙が存在する場合や咬合接触が弱い場合には，その空隙以下の厚みを認識することはできない．また，このような圧覚や咬合接触覚の測定だけでは，その感覚が実際の咀嚼にどのように影響を与えているかを示すことは難しいと報告されている[59]．

以上のことから，これまでの神経生理学的・精神物理学的な方法とその結果を考慮したうえで，本研究ではカスタムメイドの測定装置を製作し，試験食品を用いて実験を行った．本研究で使用した測定装置は小型で，全体が 60 g と軽量であり，神経生理学的な方法と比較して高額な機械や特殊な技術を必要としないため，簡便に測定を行うことができる．Trulsson らの報告では，測定装置はプラスチック製のものがほとんどであり，複数の患者が使用する場合の衛生的な問題が懸念される．しかし，本研究の測定装置は，材質がステンレス製であるため高圧蒸気滅菌が可能であること，強度も十分に備わっていることから，複数の患者に対しても滅菌して複数回使用でき，衛生

的で経済的であるといえる．また，本研究では，試験食品を保持・咬断させた時の咬合力を測定することにより，これまで報告されてきた圧覚・咬合接触覚・触覚に関する研究と比較して，実際の食品咀嚼時に近い状況で咬合力調節能力を評価できたと考えられる．

しかし，本実験モデルも含め精神物理学的方法の場合は，患者の注意力や疲労，意欲を考慮し，指示の伝わり方が対象者により異なることを注意すべきであるとされている[62]．測定回数が多くなるほど患者の疲労が蓄積し，注意力や意欲が低下する．本研究でも，2 種類の試験食品に対して 10 回ずつ測定を行うため，少なくとも 20 回は試験食品を保持してから咬断してもらう必要があり，測定中の対象者の注意力や意欲低下が懸念される．そこで本研究では，対象者を測定に慣れさせるためと，理解度を確認するために，実際の測定の前に複数回練習を行った．患者の咬筋および手指の疲労も考慮し，笠島の報告をもとに[63]，測定が 5 回終了するごとに 5 分間の休憩をとった．休憩の際にも繰り返しタスクについて説明し，対象者の理解度を確認した．

なお，本研究で使用した測定方法の再現性について検討するために，若年有歯顎者を対象に予備実験を行った．若年有歯顎者 12 名に対し，1 回目の測定を行った 1 週間後に 2 回目の測定を行い，その再現性を級内相関係数(Intraclass correlation coefficient :ICC)を用いて検討した．その結果，保持相における咬合力の信頼性は，ICC=0.802(ピーナッツ)，ICC=0.737(ビスケット)であった．咬断相における最大咬合力増加速度の信頼性は，ICC= 0.966(ピーナッツ)，ICC= 0.936(ビスケット)であり，持続時間の信頼性は ICC=0.981(ピーナッツ)，ICC= 0.777(ビスケット)であった．このことから，本研究で使用した測定方法は十分な再現性を有していると考えられる．

本研究で使用した測定方法が十分な再現性を有していることと，疲労や意

欲低下に関して考慮したことにより，2 種類の試験食品 10 回ずつの測定でのばらつきは小さく，外れ値も少なかったことから，本研究では各評価項目について，10 回の測定で得られた平均値を個人の代表値として使用した．

本研究では，タスクは Trulsson らの報告に基づき，設定した [15,19]．測定部位に関しては，前歯部で測定を行った．先行研究から，前歯部は臼歯部よりも歯根膜感覚閾値が低く，より敏感であると報告されている [17]．すなわち，前歯部の方が，保持相の咬合力が小さく，試験食品を落下しない程度に必要最小限の力で保持することができる．若年有歯顎者を対象とした予備実験からも，同様の結果が得られた．このことから，より敏感な前歯部で比較する方が，試験食品の硬さや表面性状に応じた咬合力の発現様相の比較がしやすいと考えられる．また，本研究の IOD 群のインプラントは，コンセンサスで推奨されている前歯部に存在しており，インプラントによる効果を評価しやすいと考えられる．一方，臼歯部では，前歯部と比較してより大きな咬合力を発揮しやすく，安定性も良好であるが，測定装置と試験食品を歯と歯の間で挟んだ際の開口量が，前歯部で挟んだ際と比較して大きくなる．開口の程度により，厚みの弁別閾値が異なると報告されており，開口量と感覚能との関連が示されていることから [36,37]，開口量が咬合力の発現にも影響する可能性がある．以上の点を考慮し，本研究では，測定部位を前歯部に設定した．

２．　実験結果について

分析①　試験食品間，口腔内条件間における各評価項目についての差の検討

本研究では，保持相の咬合力は，ND 群，IOD 群，CD 群間で有意差を認めなかった．しかし，Trulsson らの報告では，天然歯列者とインプラント支持固定性補綴装置装着者間，天然歯列者と全部床義歯装着者間で保持相の咬

合力には差が認められており[15]，本研究とは異なる結果となった．その理由については，本研究の対象者の年齢は，先行研究よりも高かったことが考えられる．Meriscke らは，加齢により，歯根膜の感覚能は衰えると報告している[59]．さらに，若年有歯顎者を対象とした予備実験の結果からも，若年者は高齢者と比較して保持相の咬合力を小さく保つことができていた．また，一般的に年齢が高くなると，要因が増えることにより，一つ一つの要因の影響が小さくなることが考えられる．すなわち，加齢により，歯根膜感覚の衰えだけでなく，全身疾患や精神的，身体的機能の低下などの要因が増え，それぞれの要因が薄まり，その結果口腔内条件による有意差が認められなかったのではないかと考えられる．保持相の咬合力の試験食品間の比較では，ピーナッツの方がビスケットよりも大きく，有意差を認め，先行研究と同様の結果となった．この理由としては，ピーナッツとビスケットでは表面性状が異なることが考えられる．ピーナッツは表面性状が滑沢で滑りやすいが，ビスケットは表面性状が粗造で滑りにくい性質がある．さらに，形状の違いとしてピーナッツは中切歯と接触する部分が円弧であるのに対し，ビスケットは平坦である．以上のことから，ピーナッツの方が保持することが難しく，保持相においてより大きな咬合力が必要になったと考えられる．

咬断相の咬合力増加速度は，ピーナッツの場合，ND 群が IOD 群や CD 群と比較して大きく，有意差を認めた．この理由として，主に ND 群では動揺が少なく安定していることが考えられる．IOD 群や CD 群では，咬断する際には脱離はしなくとも，義歯にはある程度，動揺が生じるが，ND 群では IOD 群や CD 群と比較して動揺が少ない．このことから，ND 群は硬い食品に対して瞬間的に咬合力を増加させやすいと考えられる．また、その他の理由としては歯根膜感覚の関与も考えられる．咀嚼を行うために必要な感覚情報を

伝える器官には，歯根膜以外にも粘膜や骨膜，咀嚼筋中の筋紡錘，顎関節が報告されている[43-46, 64]．しかし，Trulsson らは，その中でも歯根膜の占める割合は大きく，他の器官で全て代償することは難しいと報告している[19]．また，Lund，Morquett らは，食物の硬さの変化に対する運動出力の変化は，歯根膜と筋紡錘の受容体からのフィードバック機構により調節されていると報告している[65, 66]．これらのことから，IOD 群や CD 群は歯根膜からの感覚情報が失われているため，ND 群と比較して感覚のフィードバック機構に遅れや不足が生じ，硬い食品に対して瞬間的に咬合力を増加させることが難しいのではないかと考えられる．一方，ビスケットでは，ND 群，IOD 群，CD 群間で咬合力増加速度に有意差を認めなかった．これは，ビスケットが軟らかいため，咬合力を瞬間的に増加させる前に食品が破断されてしまうからではないかと考えられる．また，咬断相の咬合力増加速度は，試験食品間の比較では，ND 群と IOD 群において，ピーナッツの方がビスケットと比較して大きく，有意差を認めた．CD 群では，歯根膜感覚が失われているために，食品の硬さに応じて瞬間的に適切な咬合力を発揮するというよりも，調整せずに軟らかく咬みやすい食品に対して大きな咬合力を発揮しているのではないかと考えられる．

咬断相の持続時間は，2 種類の試験食品どちらの場合も CD 群が ND 群や IOD 群より長く，有意差を認めた．その理由として，被圧変位量と補綴装置の安定性の違いが考えられる．ND 群は歯根膜支持であり，IOD 群にはインプラントによる支持と顎堤粘膜による粘膜支持があるが，CD 群は粘膜支持のみである．歯根膜の被圧変位量は 25～100 μm，インプラントは 3～5 μm，粘膜は 200～2000 μm であると報告されている[67,68]．このことから，CD 群の場合は，咬合力が試験食品に加わってから破断されるまでに粘膜が沈下する

時間も必要であることが考えられる．さらに，IOD 群は，インプラントが存在することによって維持・支持が良好であり，CD 群と比較して補綴装置の安定性に優れている．これらの被圧変位量と補綴装置の安定性が食品を咬断するのに要する時間と関係していると考えられる．また，咬断相の持続時間は，試験食品間の比較では，ND 群，IOD 群，CD 群のいずれもピーナッツの方がビスケットよりも長く，有意差を認めた．これは 2 種類の試験食品の硬さの違いから，より硬いピーナッツを咬断するのに時間を要したためと考えられる．

咬断相の最大咬合力は，2 種類の試験食品どちらの場合も ND 群，IOD 群，CD 群間で有意差を認めなかった．咬断相に必要な咬合力は，試験食品の性質に依存することから，本研究で使用した試験食品の性状が均一化されていることが示されたと考えられる．また，咬断相の最大咬合力は，試験食品間の比較では，ND 群，IOD 群，CD 群のいずれもピーナッツの方がビスケットよりも大きく，有意差を認めた．これは 2 種類の試験食品の硬さの違いから，より硬いピーナッツを咬断するのに大きな咬合力を要したためと考えられる．

分析②-1　年齢，性別，IOD 群の対合歯の条件と各評価項目間との関連についての検討，　②-2　年齢，性別を調整したうえでの，口腔内条件と各評価項目との関連についての検討

分析②-1 では，年齢，性別，IOD 群の対合歯の条件と各評価項目について二変量間の分析を行った．その結果，2 種類の食品どちらの場合も，年齢は咬断相の持続時間と有意な正の相関関係を認めた．すなわち，年齢が高くなると，試験食品を咬断するのに要する時間が長くなることが示唆された．年

齢と口腔機能の関連については，加齢とともに咬合力，味覚などの口腔機能が低下すると報告されている[69,70]．また，口腔内の感覚閾値についても，加齢とともに触覚閾値が上昇することが報告されている[42,71]．これらのことから，年齢と咬断相の持続時間について有意な正の相関関係が認められたと考えられる．

性別については，これまで，温度刺激や電気刺激に対する感覚閾値について，女性の方が男性よりも感覚閾値が低く，敏感であることが報告されている[39-42]．しかし，今回の実験では，どちらの試験食品も保持相の咬合力，咬断相の咬合力増加速度，持続時間，最大咬合力について男女間で有意差を認めなかった．IOD 群の対合歯の条件では，対合歯が義歯の方が，天然歯と比べてビスケットを咬断するのに要する時間が長いことが示された．ピーナッツでは有意差は認められなかったものの，対合歯が義歯の方が天然歯よりも持続時間が長い傾向を認めた．その理由として，対合歯が天然歯の方が，動揺が少ないことが考えられる．一方，対合歯が義歯の場合，試験食品が破断されるまでに粘膜が沈下する時間がかかるということが考えられる．また，試験食品に直接接触しているのは上顎の中切歯であることから，咬合力調節能力と上顎の対合歯との関連は大きいと考えられる．

分析②-2 では，年齢，性別を調整したうえでも，口腔内条件と各評価項目との間に関連があるかについて検討するために，重回帰分析を行った．その結果，年齢，性別を調整したうえでも，咬断相のピーナッツの咬合力増加速度については，IOD と CD は ND と比べて小さく，有意な関連を認めた．また，ピーナッツとビスケットの持続時間については，CD は ND と比べて長く，有意な関連を認めた．すなわち，IOD 群や CD 群は，ND 群と比較して硬い食品を咬断するのに咬合力を増加させる速度が小さいこと，CD 群は ND

群と比較して食品を咬断するのに要する時間が長いことが示された．以上のことから，咬断相の咬合力増加速度や持続時間といった咬合力調節能力は，年齢や性別よりも口腔内条件に関連していることが示唆された．

本研究の限界について

本研究では，先行研究に基づいて測定装置を製作し，試験食品を前歯部で保持してから咬断するまでに生じる咬合力の変化を測定した．そして，年齢，性別を調整したうえで，IOD 装着者の咬合力発現様相について天然歯列者や全部床義歯装着者と比較して評価を行うことができた．しかし，本研究にはいくつかの限界が考えられる．まず，本研究では，治療法の選択は歯科医師の診断と患者の同意によって決定されており，ランダム化されていないことから，バイアスが生じる可能性が考えられる．本研究は横断研究であり，現時点での咬合力発現様相を比較することができたが，同一対象者に対して行った介入研究ではないため，因果関係の推測は困難である．同一の下顎無歯顎患者に対して IOD による治療前後で咬合力調節能力を比較する，あるいはランダム化比較試験を行うことで，IOD による咬合力調節能力についてよりエビデンスレベルの高い結果を得ることができる．また，本研究では，水平被蓋の大きさについては除外基準を設定したが，垂直被蓋については除外基準を設定しなかった．IOD 群と CD 群の場合は，標準的な水平被蓋と垂直被蓋を付与して義歯を製作するが，ND 群の場合は垂直被蓋の大きさには個人差がある．切端咬合の者と過蓋咬合の者では，前歯部に測定装置と試験食品を設置した際の開口量は大きく異なるため，垂直被蓋についても除外基準を設定すれば，より同一条件で咬合力発現様相が比較できたと考えられる．

３．　本研究の臨床的意義

これまで，IOD による治療の効果については，咀嚼能率や最大咬合力，患者満足度等に関して多数報告されてきた[3-10]．しかし，IOD 装着者の咬合力調節能力について評価した研究は極めて少ない．食品の硬さや表面性状に応じた咬合力調節能力は，円滑で効率的な咀嚼運動を行うためだけでなく，補綴装置や生体組織への過重負担を防ぐ意味でも非常に重要な能力である[72]．本研究により，新たに咬合力調節能力という観点からも IOD の効果を評価することができ，IOD による治療法は，従来の全部床義歯による治療法と比較して優れていることが示唆された．このことは，下顎無歯顎患者に対して IOD という治療法を選択する際の根拠の一つに加えられると考えられる．一方で，IOD 装着者の咬合力調節能力は，天然歯列者には及ばず，硬い食品に対して天然歯列者と同程度まで最大咬合力増加速度を大きくすることができない．この特徴を把握したうえで，IOD 装着者に対して天然歯と比較した IOD の咬合力調節能力の限界について説明し，適切な食物の形態や摂取方法を指導することができると考えられる．これにより，義歯やインプラントへの過重負担の軽減につながり，患者に提供した IOD を良好な状態で長期的に維持していくために役立つと考えられる．以上のことから，本研究の臨床的意義は大きいと考えられる．

総括ならびに結論

本研究は，IOD 装着者の咬合力調節能力について，天然歯や他の補綴装置と比較することを目的として，天然歯列者，IOD 装着者，全部床義歯装着者において試験食品を前歯部で保持してから咬断するまでに生じる咬合力の変化を測定し，食品の硬さや表面性状に応じた咬合力発現様相について評価した結果，以下の知見が得られた．

1. IOD 装着者は，天然歯列者と比較して，硬い食品を咬断する際の咬合力増加速度が小さい．
2. IOD 装着者は，全部床義歯装着者と比較して，食品を咬断するのに要する時間が短い．

以上のことから，IOD 装着者の咬合力発現様相は，全部床義歯装着者に比べて，天然歯列者に近いことが示唆された．

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　池邉一典准教授，和田誠大講師ならびに大阪大学大学院歯学研究科　前田芳信特任教授に謹んで感謝の意を表します.

さらに，本研究に際し終始御理解と御協力をいただき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・高齢者歯科学分野の教室員各位ならびに本研究の対象者の皆様に心から御礼申し上げます.

文献

1. Feine JS, Carlsson GE, Awad MA, Chehade A, Duncan WJ, Gizani S, Head T, Heydecke G, Lund JP, MacEntee M, Mericske-Stern R, Mojon P, Morais JA, Naert I, Payne AG, Penrod J, Stoker GT, Tawse-Smith A, Taylor TD, Thomason JM, Thomson WM, Wismeijer D. The McGill consensus statement on overdentures. Mandibular two-implant overdentures as first choice standard of care for edentulous patients. Gerodontology 2002; 19: 3-4.
2. Thomason JM, Feine J, Exley C, Moynihan P, Müller F, Naert I, Ellis JS, Barclay C, Butterworth C, Scott B, Lynch C, Stewardson D, Smith P, Welfare R, Hyde P, McAndrew R, Fenlon M, Barclay S, Barker D. Mandibular two implant-supported overdentures as the first choice standard of care for the edentulous patients-the York Consensus Statement. Br Dent J 2009; 207: 185-6.
3. Kutkut A, Bertoli E, Frazer R, Pinto-Sinai G, Fuentealba Hidalgo R, Studts J. A systematic review of studies comparing conventional complete denture and implant retained overdenture. J Prosthodont Res 2017 Jun 27 [Epub ahead of print].
4. Sivaramakrishnan G, Sridharan K. Comparison of implant supported mandibular overdentures and conventional dentures on quality of life: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies. Aust Dent J 2016; 61: 482-8.
5. Marcello-Machado RM, Falot F, Schuster AJ, Bielemann AM, Chagas Júnior OL, Del Bel Cury AA. How does mandibular bone atrophy influence the masticatory function, OHRQoL and satisfaction in overdenture wearers? Clinical results until 1-year post-loading. J Oral Rehabil 2017 Jul 25[Epub ahead of print].
6. Kordatzis K, Wright PS, Meijer HJ. Posterior mandibular residual ridge resorption in patients with conventional dentures and implant overdentures. Int J Oral

Maxillofac Implants 2003; 18: 447-52.

7. Burns DR, Unger JW, Elswick RK Jr, Beck DA. Prospective clinical evaluation of mandibular implant overdentures: Part I-retention, stability, and tissue response. J Prosthet Dent 1995; 73: 354-63.
8. Fueki K, Kimoto K, Ogawa T, Garrett NR. Effect of implant-supported or retained dentures on masticatory performance: a systematic review. J Prosthet Dent 2007; 98: 470-7.
9. Boven GC, Raqhoebar GM, Vissink A, Meijer HJ. Improving masticatory performance, bite force, nutritional state and patient's satisfaction with implant overdentures: a systematic review of the literature. J Oral Rehabili 2015; 42: 220-33.
10. Kuoppala R, Näpänkangas R, Raustia A. Outcome of implant-supported overdenture treatment- a survey of 58 patients. Gerodontology 2012; 29: e577-84.
11. Trulsson M. Sensory-motor function of human periodontal mechanoreceptors. J Oral Rehabil 2006; 33: 262-73.
12. Grigoriadis A, Johansson RS, Trulsson M. Adaptability of mastication in people with implant-supported bridges. J Clin Periodontol 2011; 38: 395-404.
13. 井上富雄，鶴岡正吉，佐野正和，山上芳雄，臼井美恵子，斉藤充，松谷貴代. 咀嚼筋活動の調節機構. 昭歯誌 2001; 21: 58-63.
14. Trulsson M, Johansson RS. Forces applied by the incisors and roles of periodontal afferents during food-holding and –biting tasks. Exp Brain Res 1996; 107: 486-96.
15. Trulsson M, Gunne HS. Food-holding and –biting behavior in human subjects lacking periodontal receptors. J Dent Res 1998; 77: 574-82.
16. Johansson AS, Svensson KG, Trulsson M. Impaired masticatory behavior in subjects

with reduced periodontal tissue support. J Periodontol 2006; 77: 1491-7.

17. Johnsen SE, Svensson KG, Trulsson M. Forces applied by anterior and posterior teeth and roles of periodontal afferents during hold-and-split tasks in human subjects. Exp Brain Res 2007; 178: 126-34.
18. Svensson KG, Trulsson M. Regulation of bite force increase during splitting of food. Eur J Oral Sci 2009; 117: 704-10.
19. Svensson KG, Trulsson M. Impaired force control during food holding and biting in subjects with tooth- or –implant-supported fixed prostheses. J Clin Periodontol 2011; 38: 1137-46.
20. 前田芳信，権田知也，高橋利士，水野遥子．オーバーデンチャーに対する評価の変遷．日補綴会誌　2014; 6: 223-32.
21. 公益社団法人日本補綴歯科学会．歯科補綴学専門用語集 第 4 版．東京：医歯薬出版；2015, 10.
22. Mushimoto E. The role in masseter muscle activities of functionally elicited periodontal afferents from abutment teeth under overdentures. J Oral Rehabil 1981; 42: 12-6.
23. Mericske-Stern R. Overdentures with roots or implants for elderly patients: a comparison. J Prosthet Dent 1994; 72: 615-9.
24. Tzakis MG, Liden B, Jemt T. Oral function in patients treated with prostheses on Branemark osseointegrated implants in partially edentulous jaws: a pilot study. Int J Oral Maxillofac Implants 1990; 5: 107-11.
25. Kazemi M, Geramipanah F, Negahdari R, Rakhshan V. Active tactile sensibility of single-tooth implants versus natural dentition: a split-mouth double-blind randomized clinical trial. Clin Implant Dent Relat Res 2014; 16: 947-55.

26. Enkling N, Nicolay C, Utz KH, Jöhren P, Wahl G, Mericske-Stern R. Tactile sensibility of single-tooth implants and natural teeth. Clin Oral Implants Res 2007; 18: 231-6.
27. Enkling N, Utz KH, Mayer S, Stern RM. Osseoperception: active tactile sensibility of osseointegrated dental implants. Int J Oral Maxillofac Implants 2010; 25: 1159-67.
28. Enkling N, Heussner S,Nicolay C, Bayer S, Mericske-Stern R, UTz KH. Tactile sensibility of single-tooth implants and natural teeth under local anesthesia of the natural antagonistic teeth. Clin Implant Dent Relat Res 2012; 14: 273-80.
29. Kineberg I, Calford MB, Greher B, Henry P, Macefield V, Miles T, Rowe M, Sessle B, Trulsson M. A consensus statement on osseoperception. Clin Exp Pharmacol Physiol 2005; 32: 145-6.
30. van Steenberghe D. From Osseointegration to osseoperception. J Dent Res 2000; 79: 1833-7.
31. Jacob R, van Steenberghe D. From osseoperception to implant-mediated sensory-motor interactions and related clinical implications. J Oral Rehabil 2006; 33: 282-92.
32. 檜垣宜明，後藤崇晴，友竹偉則，西中英伸，今井守夫，檜原司，市川哲雄．インプラントの感覚能に関する文献的考察：天然歯との比較．　日本口腔インプラント誌　2013; 26: 52-60.
33. Bhatnagar YM, Karani JT, Khanna A, Badwaik P, Pai A. Osseoperception: An Implant Mediated Sensory Motor Control- A Review. J Clin Diagn Res 2015; 9: 18-20.
34. Mishra SK, Chowdhary R, Chrcanovic BR, Brånemark PI. Osseoperception in

Dental Implants: A Systeatic Review. J Prosthodont 2016; 25: 185-95.

35. Higaki N, Goto T, Ishida Y, Watanebe M, Tomotake Y, Ichikawa T. Do sensation differences exist between dental implants and natural teeth? : A meta-analysis. Clin Oral Implatns Res 2014; 25: 1307-10.
36. Morimoto T, Christensen J. The effect of maximal mouth opening on dimension discrimination. J Oral Rehabil 1980; 7: 353-60.
37. Morimoto T, Hamada T, Kawamura Y. Alteration in directional specificity of interdental dimension discrimination with the degree of mouth opening. J Oral Rehabil 1983; 10: 335-42.
38. Shiga H, Kobayashi Y, Katsuyama H, Yokoyama M, Arakawa I. Gender difference in masticatory performance in dentate adults. J Prosthodont Res 2012; 56: 166-9.
39. Ogura K, Kimoto S, Yamaguchi H, Kobayashi K. Perception thresholds for electrical stimulation of the palatal mucosa. Int J Prosthodont 2007; 20: 423-31.
40. 石垣尚一，廣川雅之，矢谷博文．三叉神経領域における温度刺激に対する知覚および疼痛閾値の性差について．日本口腔顔面痛学会雑誌 2009; 2: 15-9.
41. 瀬野晋一郎．口腔および口唇領域の電気刺激に対する知覚閾値．生体医工学 2011; 49: 925-31.
42. da Silva LA, Lin SM, Teixeira MJ, de Sigueira JT, Jacob Filho W, de Sigueira S. Sensorial differences according to sex and ages. Oral Dis 2014; 20: e103-10.
43. Broekhuijsen ML, van Willigen JD. Factors influencing jaw position sense in man. Arch Oral Biol 1983; 28: 387-91.
44. 日高修．咀嚼筋活動の制御機構．歯基礎誌 1999; 41: 184-92.
45. Scutter SD, Türker KS. The role of muscle spindles in human masseter. Hum Mov Sci 2001; 20: 489-97.

46. Jacobs R, van Steenberghe D. Role of periodontal ligament receptors in the tactile function of teeth: a review. J Periodontal Res 1994; 29: 153-67.
47. 内田達郎．全部床義歯による咀嚼能力の評価に関する研究―咀嚼能力に影響する因子と評価に適した食品の検討―．口病誌 1991; 58: 182-97.
48. 神山かおる，中山裕子，佐々木朋子．アーモンドにおける粒の大きさが咀嚼に及ぼす影響．食総研報　2005; 69: 13-7.
49. Manly RS, Braley LC. Masticatory performance and efficiency. J Dent Res 1950; 29: 448-62.
50. 咀嚼障害評価法のガイドラインー主として咀嚼能力検査法ー．日本補綴歯科学会ガイドライン作成委員会　補綴誌 2002; 466: 19-25.
51. McKiernan F, Mattes RD. Effects of Peanut Processing on Masticatory Performance during Variable Appetitive States. J Nutr Metab Epub 2009 Nov 10.
52. Smyth DA, Mach C, Holloway OE, Derming DM, Slade L, Levine H. Evaluation of analytical methods for optimizing peanut roasting for snack foods. Peanut Science 1998; 25: 70-6.
53. Van Loven K. Jacobs R, Swinnen A, Van Huffel S, Van Hees J, van Steenberghe D. Sensations and trigeminal somatosensory-evoked potentials elicited by electrical stimulation of endosseous oral implants in humans. Arch Oral Biol 2000; 45: 1083-90.
54. 松崎俊哉，小暮ミカ，関根清恵，鈴木正臣，内田安信．三叉神経電気刺激による体性感覚誘発電位についてー三叉神経麻痺の定量化ー．明倫歯誌 1998; 1: 35-8.
55. 鳥養智子，野島邦彦，一色泰成．歯牙刺激による体性感覚誘発電位(SEP)に関する研究：機械的圧刺激と電気刺激による初期成分と後期成分について．

歯科学報　2001; 101: 635-47.

56. Yan C, Ye L, Zhen J, Ke L, Gang L. Neuroplasticity of edentulous patients with implant-supported full dentures. Eur J Oral Sci 2008; 116: 387-93.
57. Jacobs R, van Steenberghe D. Comparison between implant-supported prostheses and teeth regarding passive threshold level. Int J Oral Maxillofac Implants 1993; 8: 549-54.
58. Mericske-Stern R, Hofmann J, Wedig A, Geering AH. In vivo measurements of maximal occlusal force and minimal pressure threshold on overdentures supported by implants or natural roots: a comparative study, Part 1. Int J Oral Maxillofac Implants 1993; 8: 641-9.
59. Meriske-Stern R. Oral tactile sensibility recorded in overdenture wearers with implants or natural roots: a comparative study. Part 2. Int J Oral Maxillofac Implants 1994; 9: 63-70.
60. Batista M, Bonachela W, Soares J. Progresseive recovery of osseoperception as a function of the combination of implant-supported prostheses. Clin Oral Implants Res 2008; 19: 565-9.
61. Jang KS, Kim YS. Comparison of oral sensory function in complete denture and implant-supported prosthesis wearers. J Oral Rehabil 2001; 28: 220-5.
62. Luraschi J, Schimmel M, Bernard JP, Gallucci GO, Belser U, Müller F. Mechanosensation and maximum bite force in edentulous patients rehabilitated with bimaxillary implant-supported fixed dental prostheses. Clin Oral Implants Res 2012; 23: 577-83.
63. 笠島茂樹. 咀嚼筋と四肢筋の疲労とその回復に関する研究. 補綴誌　1998; 42: 115-23.

64. Munakata Y. Kasai S. Contribution of the mucosal tactile information to the mandibular sense in patients wearing dentures. J Oral Rehabil 1992; 19: 649-54.
65. Lund JP, Kolta A. Generation of the central masticatory pattern and its modification by sensory feedback. Dysphagia 2006; 21: 167-74.
66. Morquette P, Lavoie R, Fhima MD, Lamoureux X, Verdier D, Kolta A. Generation of the masticatory central pattern and its modulation by sensory feedback. Prog Neurobiol 2012; 96: 340-55.
67. 藤井弘之，岸正孝，後藤忠正，虫本栄子，長岡英一，真鍋顕，宮田孝義．パーシャルデンチャーの咬合採得．補綴誌　1994; 38: 233-59.
68. Kim Y, Oh TJ, Misch CE, Wang HL. Occlusal considerations in implant therapy: clinical guidelines with biomechanical rationale. Clin Oral Implants Res 2005; 16: 26-35.
69. Mojet J, Christ-Hazelhof E, Heidema J. Taste perception with age: generic or specific losses in threshold sensitibity to the five basic tastes? Chem Senses 2001; 26: 845-60.
70. Watanabe Y, Hirano H, Arai H, Morishita S, Ohara Y, Edahiro A, Murakami M, Shimada H, Kikutani T, Suzuki T. Relationship Between Frailty and Oral Function in Community-Dwelling Elderly Adults. J Am Geriatr Soc 2017; 65: 66-76.
71. Teranaka S, Shibaji T, Minakuchi S, Umematsu H. Age-related changes in oral mechanosensitivity of symptom-free subjects. J Med Dent Sci 2008; 55: 61-9.
72. 市川哲雄，後藤崇晴，岩脇有軌，檜垣宜明，内藤禎人．シリーズ：補綴装置および歯の延命のために Part6-力のコントロール- 力を受ける生体側の観点から．日補綴会誌 2015; 7: 357-62.

図および表の説明

表 1　各群の対象者の比較

図 1　咬合力測定装置

A:　小型 3 軸力覚センサ(USL06-H5-50N，テック技販，京都)

B:　試験食品設置用プレート装着時

C:　装置本体　概要図

D:　口腔内設置時の写真

図 2　各群の咬合力の時間経過の代表例

A:　ND 群　B:　IOD 群　C:　CD 群

図 3　評価項目の設定

a:　保持相の始点

b:　保持相の終点，咬断相の始点

c:　咬断相の終点

d:　保持相

e:　咬断相

f:　最大咬合力

図 4　保持相の咬合力(口腔内条件間の比較)

A:　ピーナッツ　B:　ビスケット

図 5　保持相の咬合力(食品間の比較)

A:　ND 群　B:　IOD 群　C:　CD 群

図 6　咬断相の咬合力増加速度(口腔内条件間の比較)

A:　ピーナッツ　B:　ビスケット

図 7　咬断相の咬合力増加速度(食品間の比較)

A:　ND 群　B:　IOD 群　C:　CD 群

図 8　咬断相の持続時間(口腔内条件間の比較)

A:　ピーナッツ　B:　ビスケット

図 9　咬断相の持続時間(食品間の比較)

A:　ND 群　B:　IOD 群　C:　CD 群

図 10　咬断相の最大咬合力(口腔内条件間の比較)

A:　ピーナッツ　B:　ビスケット

図 11　咬断相の最大咬合力(食品間の比較)

A:　ND 群　B:　IOD 群　C:　CD 群

表 2　年齢と各評価項目との相関関係

図 12　性別と各評価項目との関係

図 13　IOD 群の対合歯の条件と各評価項目との関係

表 3　分析②-2 の重回帰分析の結果

表 4　平均義歯使用期間と咬断相持続時間との関係

表1 各群の対象者の比較

	ND群 （上下天然歯列群）	**IOD群** (下顎IOD群)	**CD群** （上下全部床義歯群）	統計学的有意差
人数	19名	14名	14名	
年齢	平均70.7歳 標準偏差4.5歳	平均73.4歳 標準偏差7.2歳	平均80.7歳 標準偏差7.1歳	Kruskal-Wallis検定 Bonferroni法による 多重比較検定 ND群-CD群間に有意差あり $p<0.01$
性別の 構成	女性12名，男性7名	女性8名，男性6名	女性6名，男性8名	カイ二乗検定 $p=0.504$
平均義歯 使用期間		平均5.8年 標準偏差3.3年 最短1年，最長12年	平均3.5年 標準偏差2.0年 最短1年，最長8年	Mann-WhitneyのU検定 $p=0.094$
対合歯	天然歯	天然歯7名，義歯7名	全部床義歯	

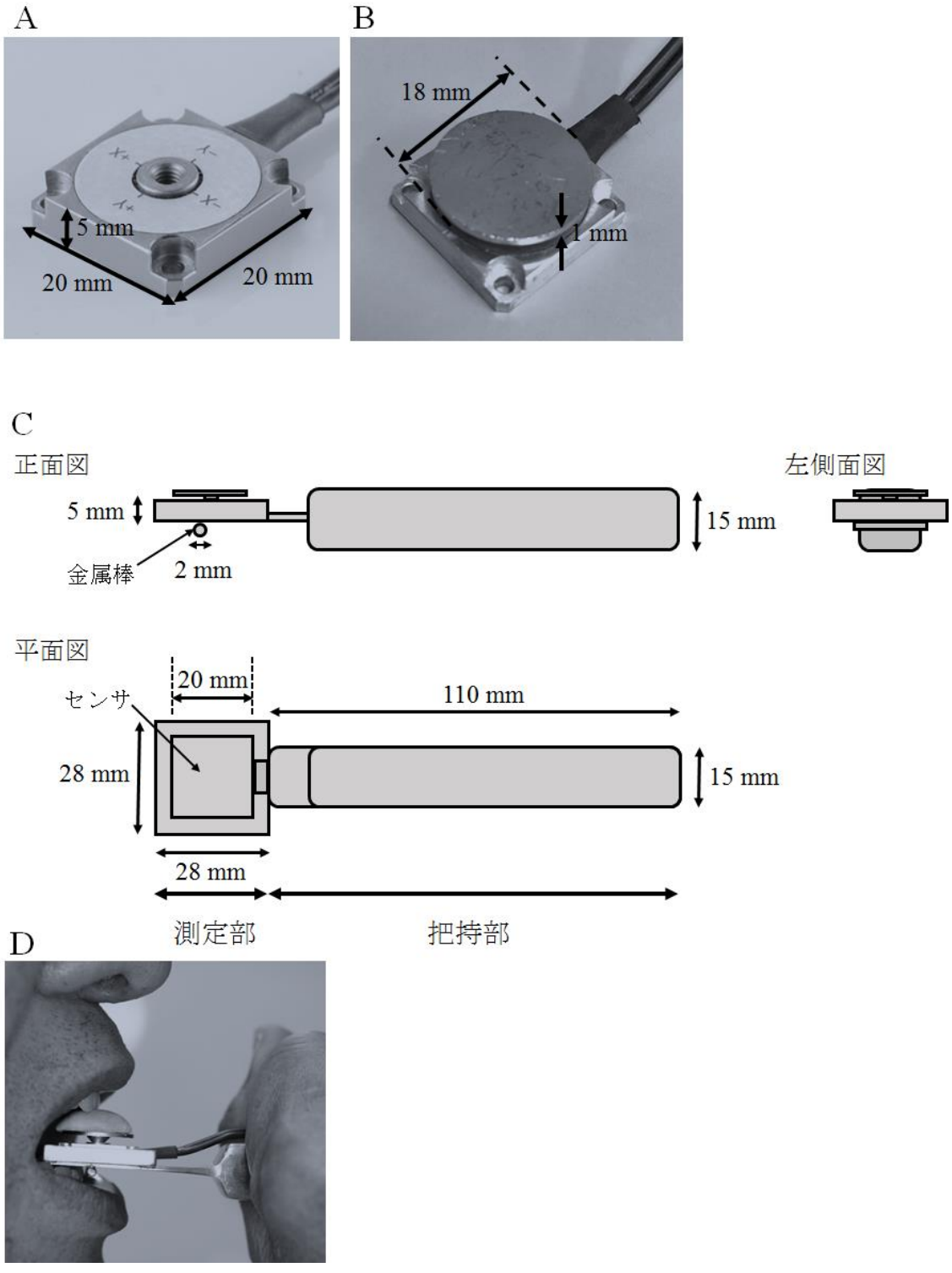


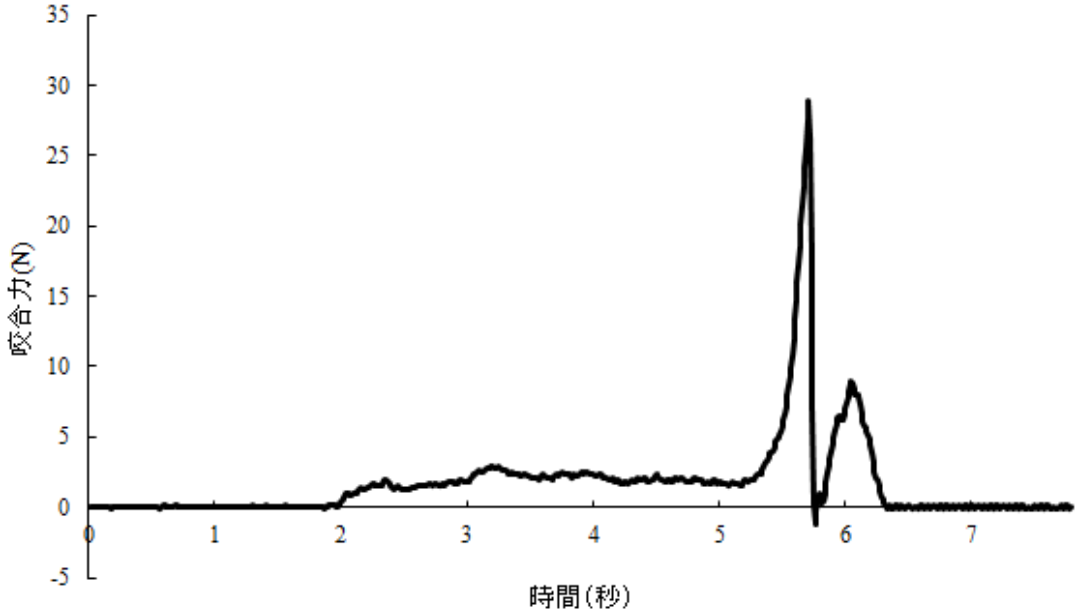
図 1　咬合力測定装置

A:　小型 3 軸力覚センサ(USL06-H5-50N，テック技販，京都)

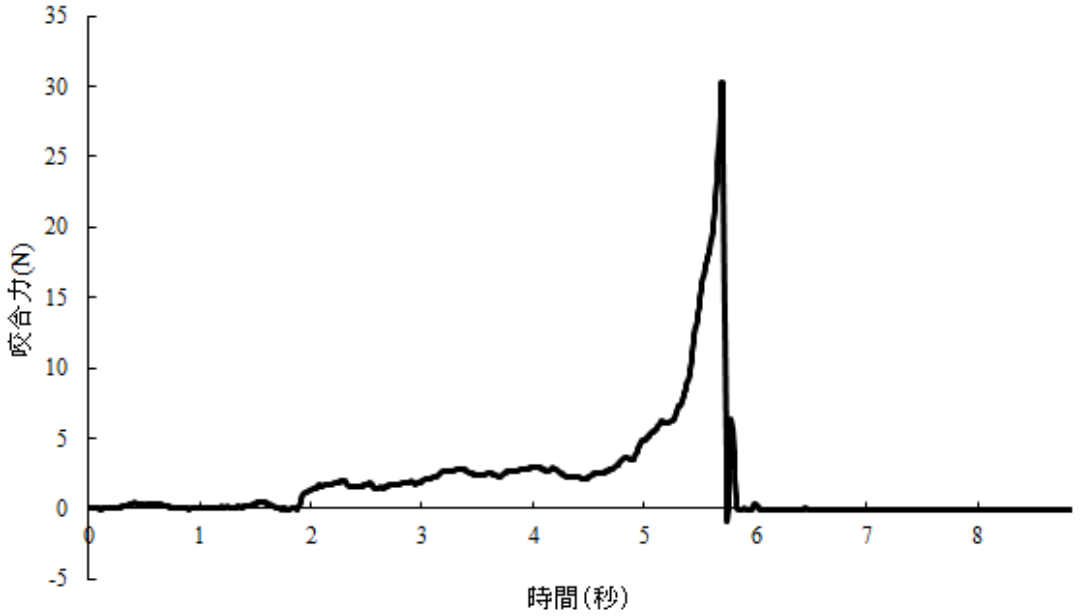
B:　試験食品設置用プレート　C:　装置本体　概要図

D:　口腔内設置時の写真

A:　ND群


35
30
25
20
15
10
5
0
-5
咬合力(N)
0
1
2
3
4
5
6
7
時間(秒)

B:　IOD群


35
30
25
20
15
10
5
0
-5
咬合力(N)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
時間(秒)

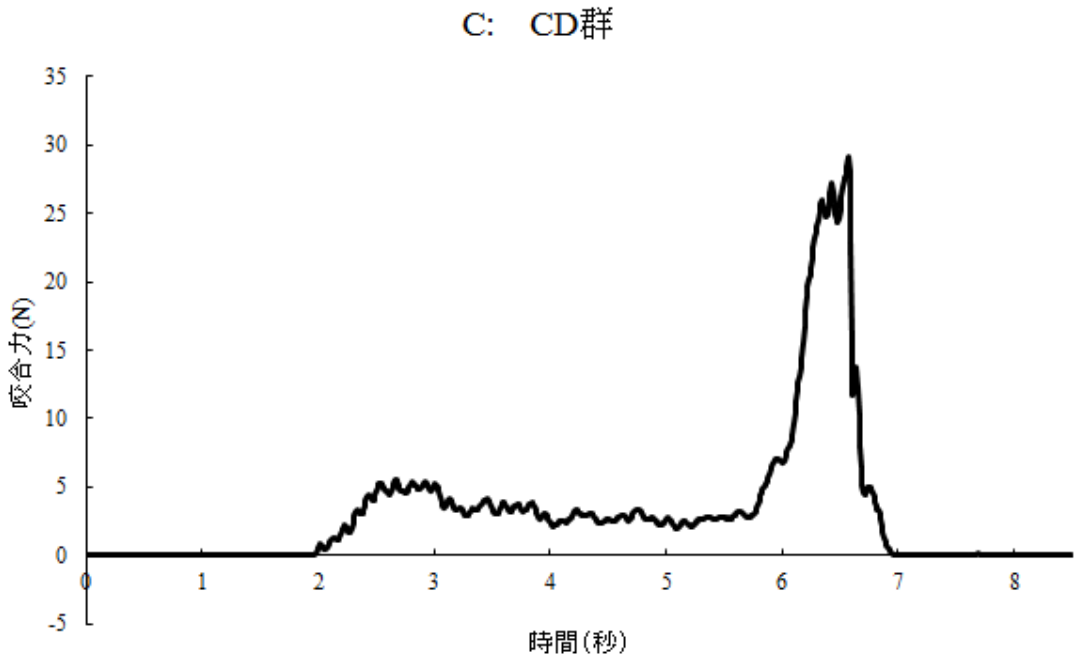


図 2.　各群の咬合力の時間経過の代表例

測定装置の測定部に設置した試験食品(ピーナッツ)を，上下中切歯の間で落下しない程度に必要最小限の力で 3 秒間保持してから，ためらわずに咬断した時の咬合力の変化を示している．

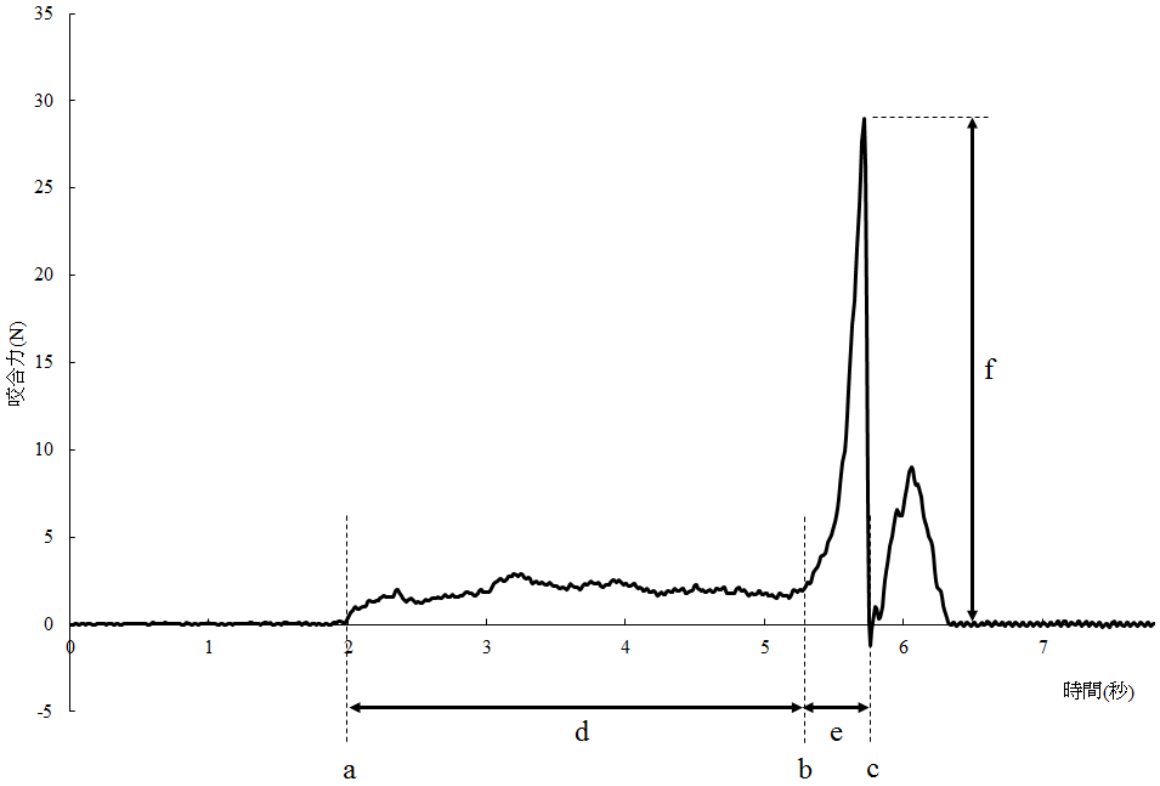


図 3.　評価項目の設定

a:　保持相の始点
　試験食品と上顎中切歯が接触して咬合力が生じた時点

b:　保持相の終点，咬断相の始点
　0.01 秒あたりの咬合力の増加量が 5N を超えた時点

c:　咬断相の終点
　試験食品を咬断し，咬合力の大きさ 0 になった時点

d:　保持相
　試験食品を保持している期間

e:　咬断相
　試験食品を咬断している期間

f:　最大咬合力
　咬断相で生じる咬合力の最大値

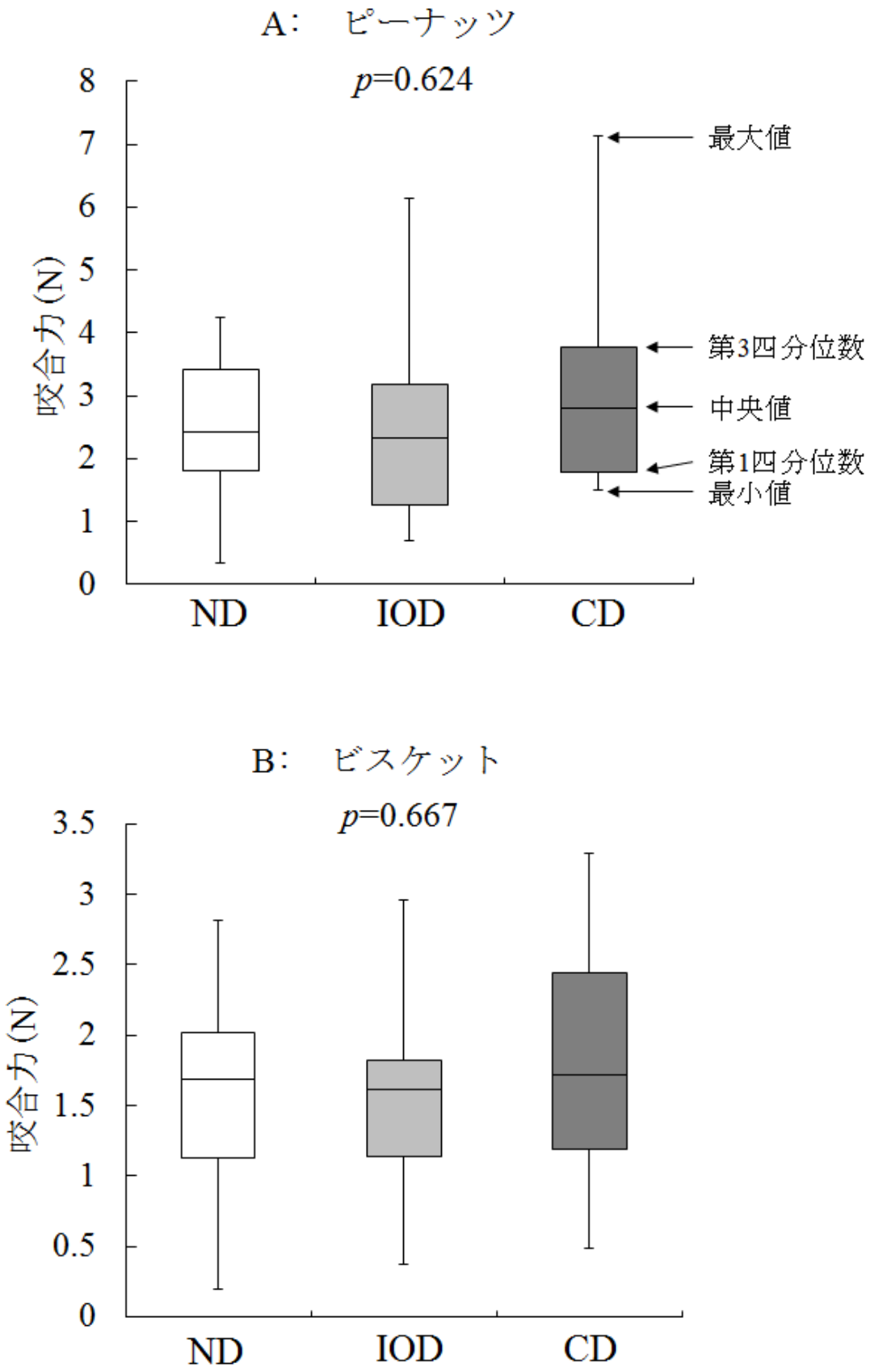


図 4.　保持相の咬合力(口腔内条件間の比較)

Kruskal-Wallis 検定により口腔内条件間での差について検討した.

どちらの試験食品についても口腔内条件間で有意差を認めなかった.

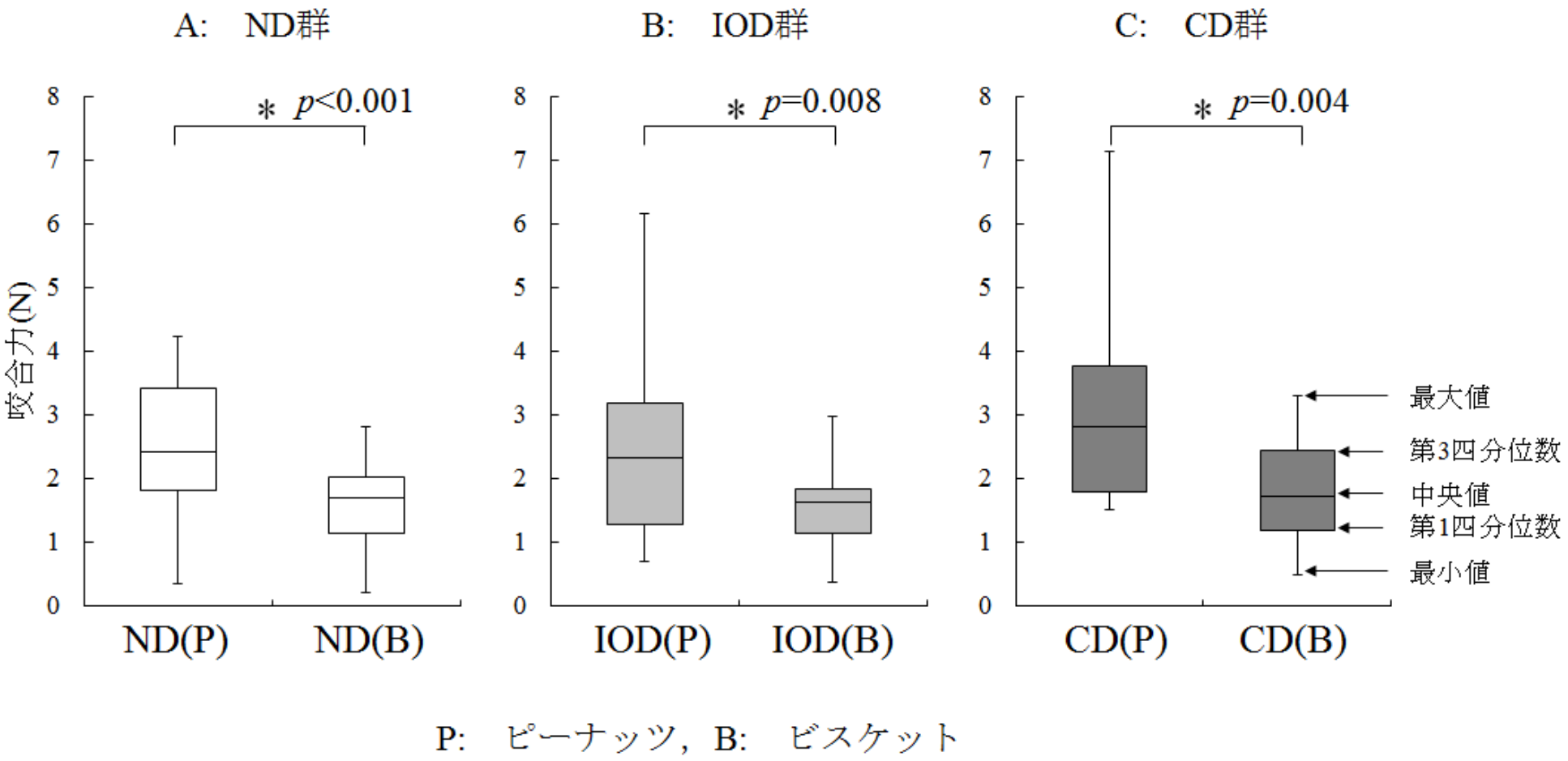


図 5. 保持相の咬合力(食品間の比較)

Wilcoxon の符号付順位検定により，食品間での差について検討した.

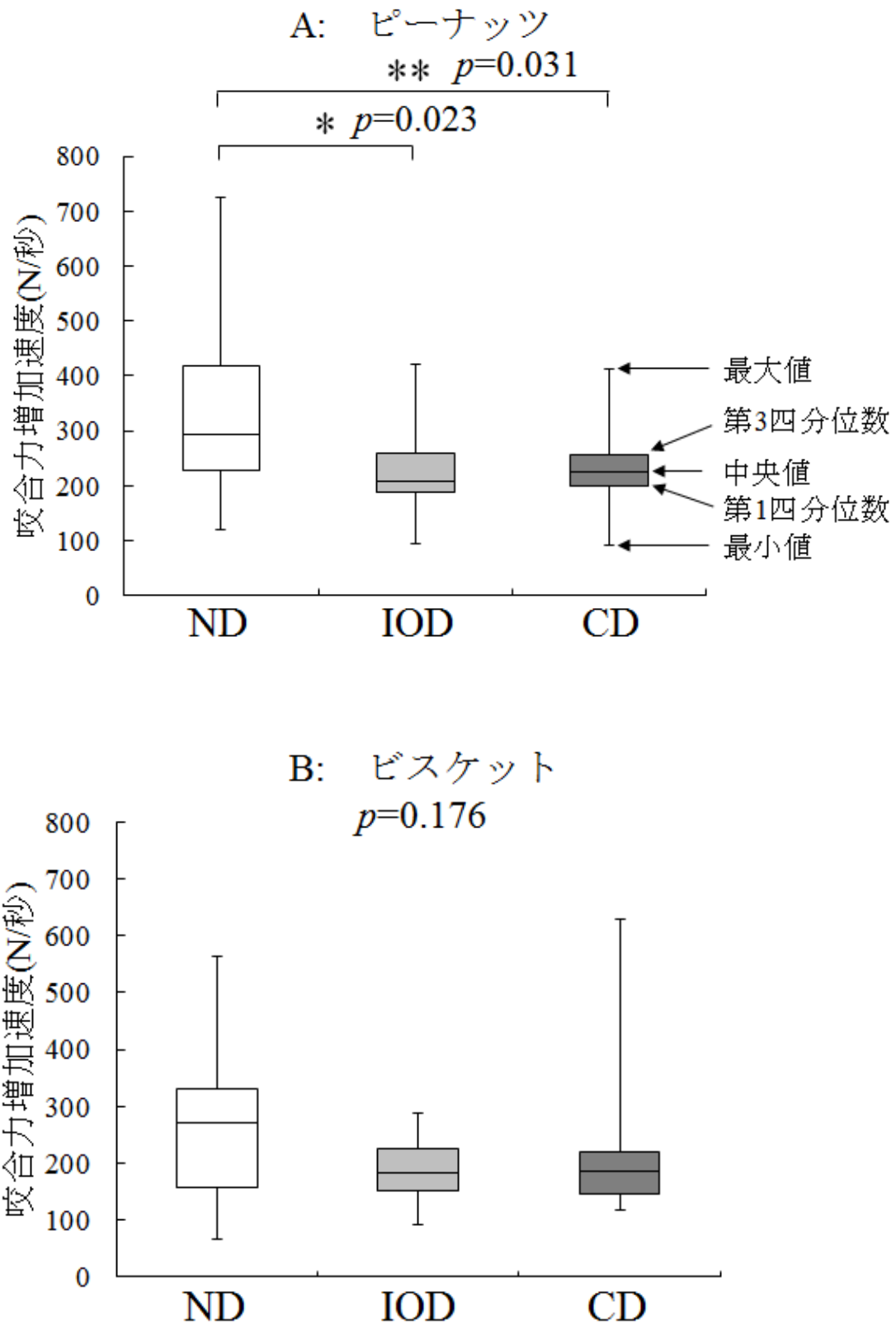


図 6.　咬断相の咬合力増加速度(口腔内条件間の比較)

Kruskal-Wallis 検定および Bonferroni 法による多重比較検定により，

口腔内条件間での差について検討した．

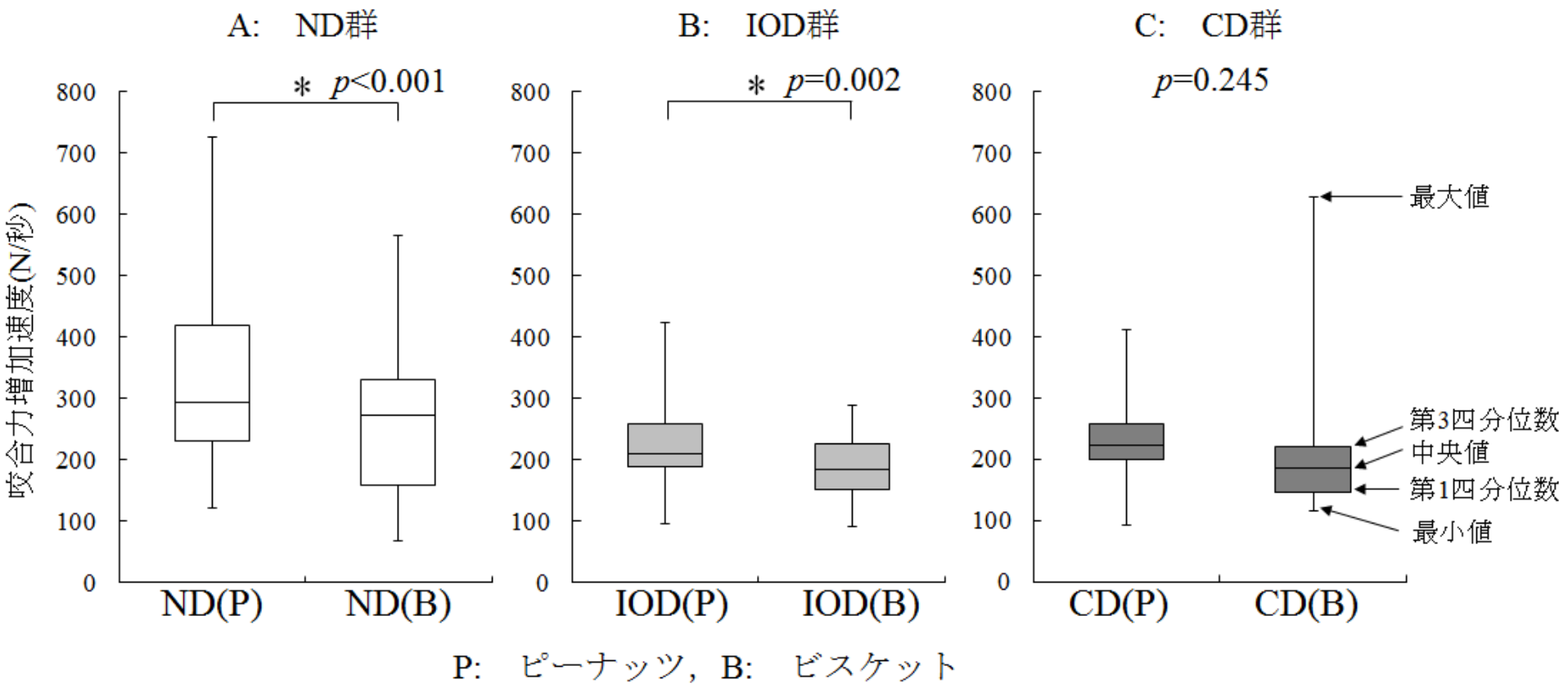


図 7.　咬断相の咬合力増加速度(食品間の比較)

Wilcoxon の符号付順位検定により，食品間での差について検討した.

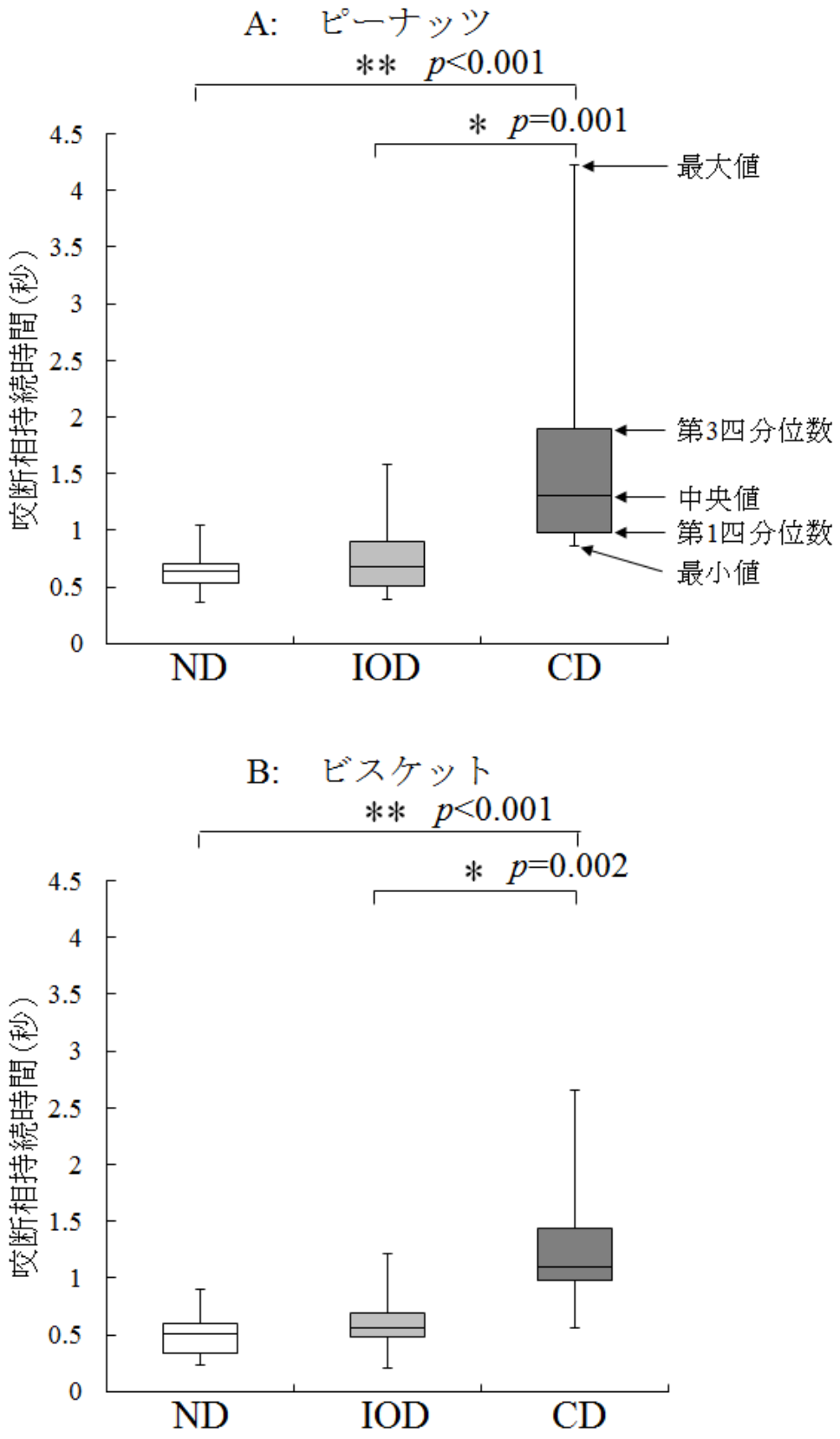


図 8.　咬断相の持続時間(口腔内条件間の比較)

Kruskal-Wallis 検定および Bonferroni 法による多重比較検定により，
口腔内条件間での差について検討した．

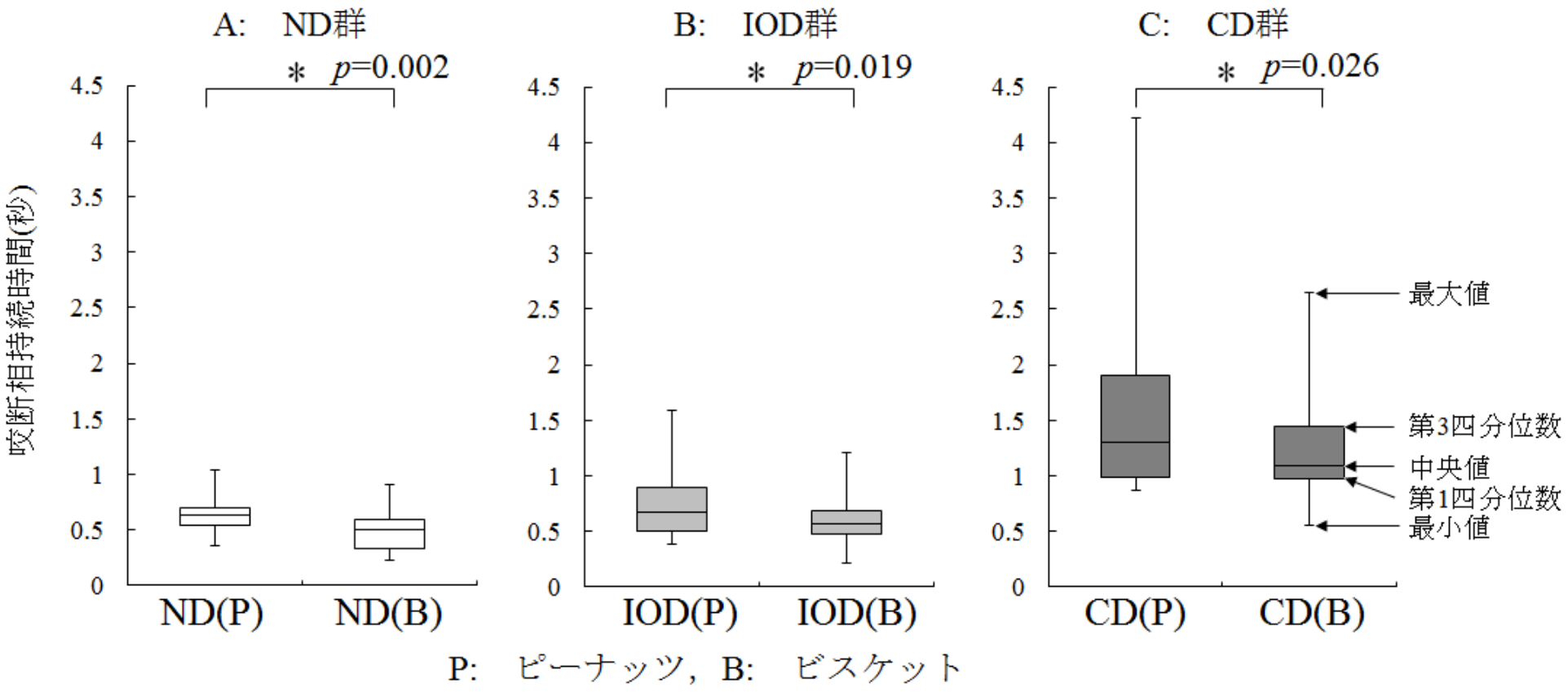


図 9.　咬断相の持続時間(食品間の比較)

Wilcoxon の符号付順位検定により，食品間での差について検討した.

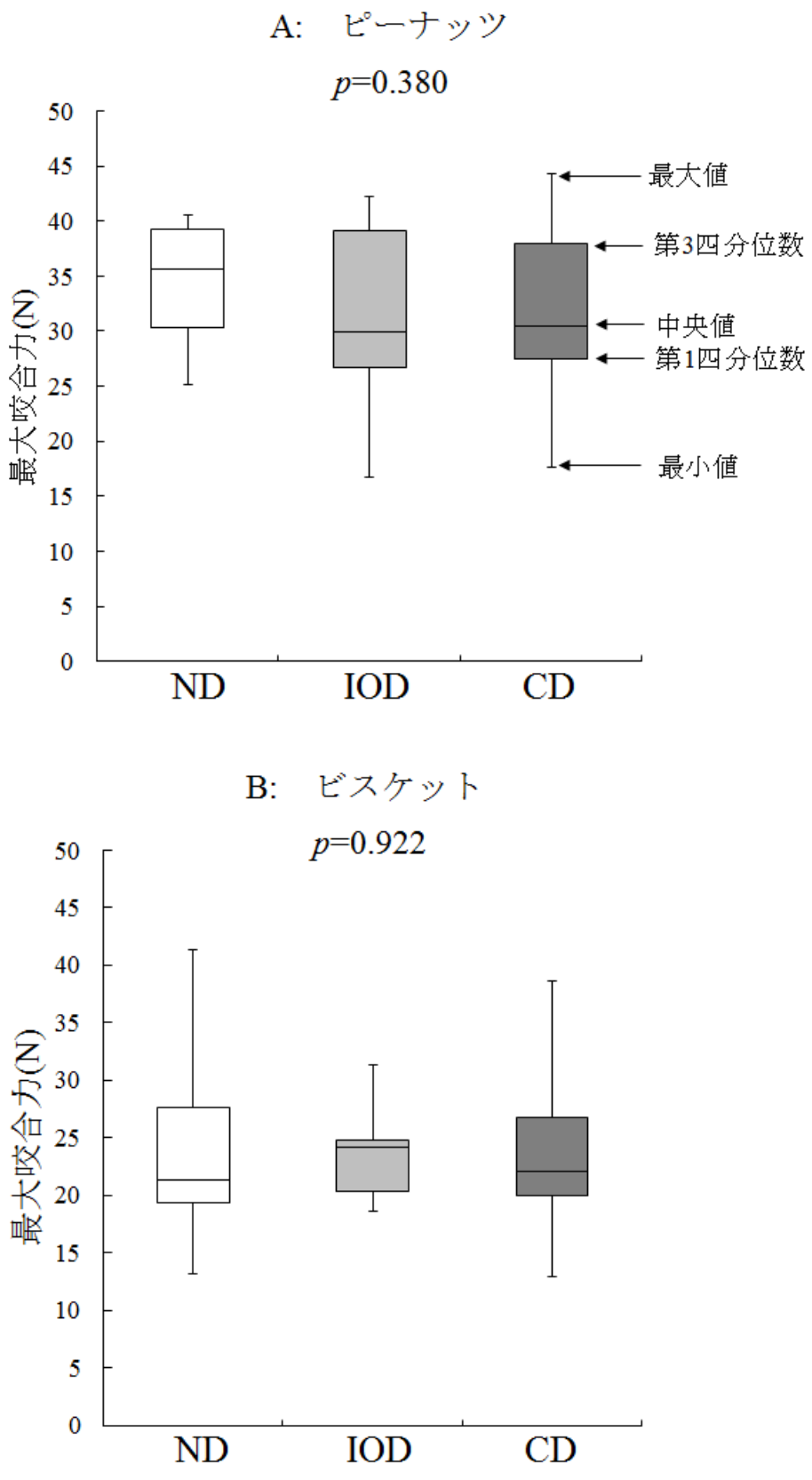


図 10.　咬断相の最大咬合力(口腔内条件間の比較)

Kruskal-Wallis 検定により口腔内条件間での差について検討した.

どちらの試験食品についても口腔内条件間で有意差を認めなかった.

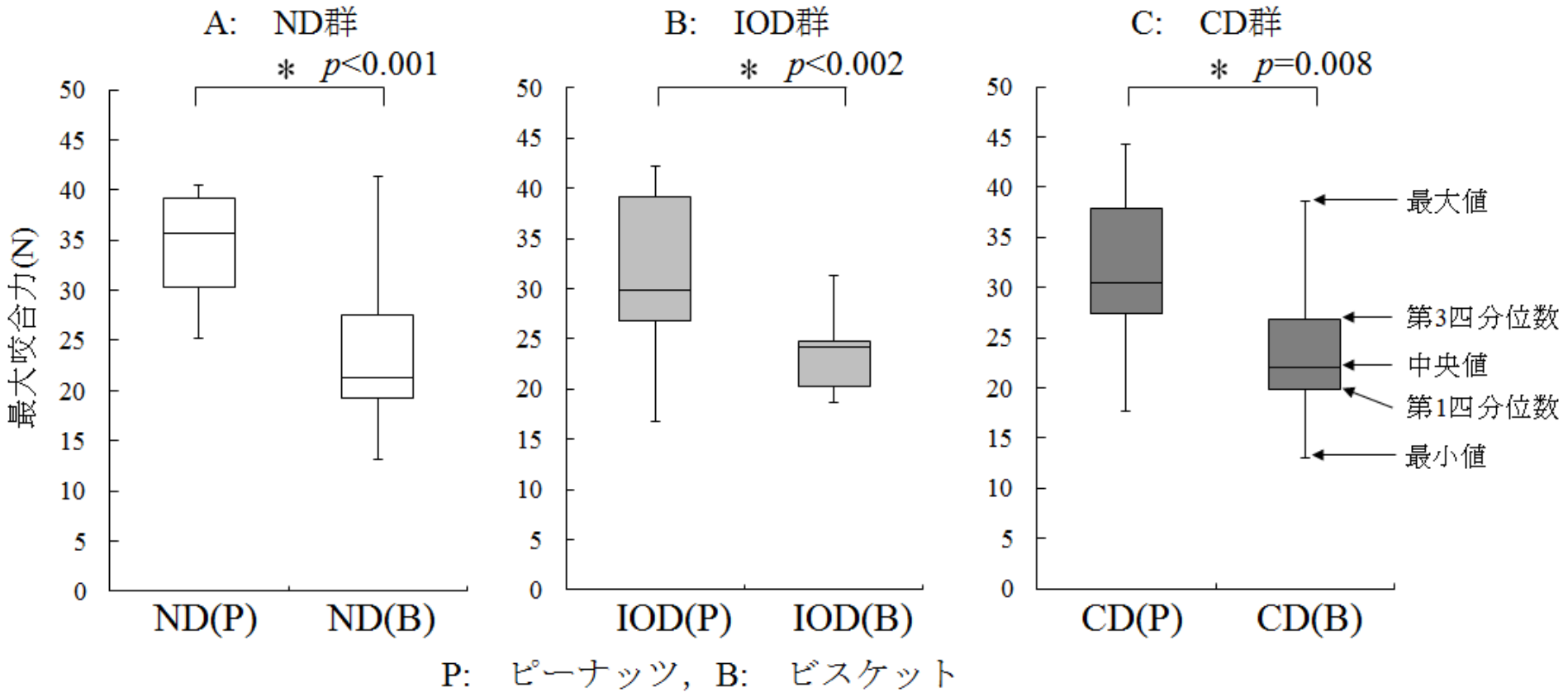


図 11.　咬断相の最大咬合力(食品間の比較)

Wilcoxon の符号付順位検定により，食品間での差について検討した.

表2 年齢と各評価項目との相関関係

	ピーナッツ	rs	*p*値
保持相	咬合力（N）	-0.112	0.453
咬断相	咬合力増加速度(N/秒)	-0.099	0.509
	持続時間(秒)	0.387	＜0.01
	最大咬合力(N)	-0.033	0.825

	ビスケット	rs	*p*値
保持相	咬合力（N）	0.021	0.886
咬断相	咬合力増加速度(N/秒)	0.122	0.415
	持続時間(秒)	0.344	0.018
	最大咬合力(N)	0.101	0.499

rs:Spearmanの順位相関係数

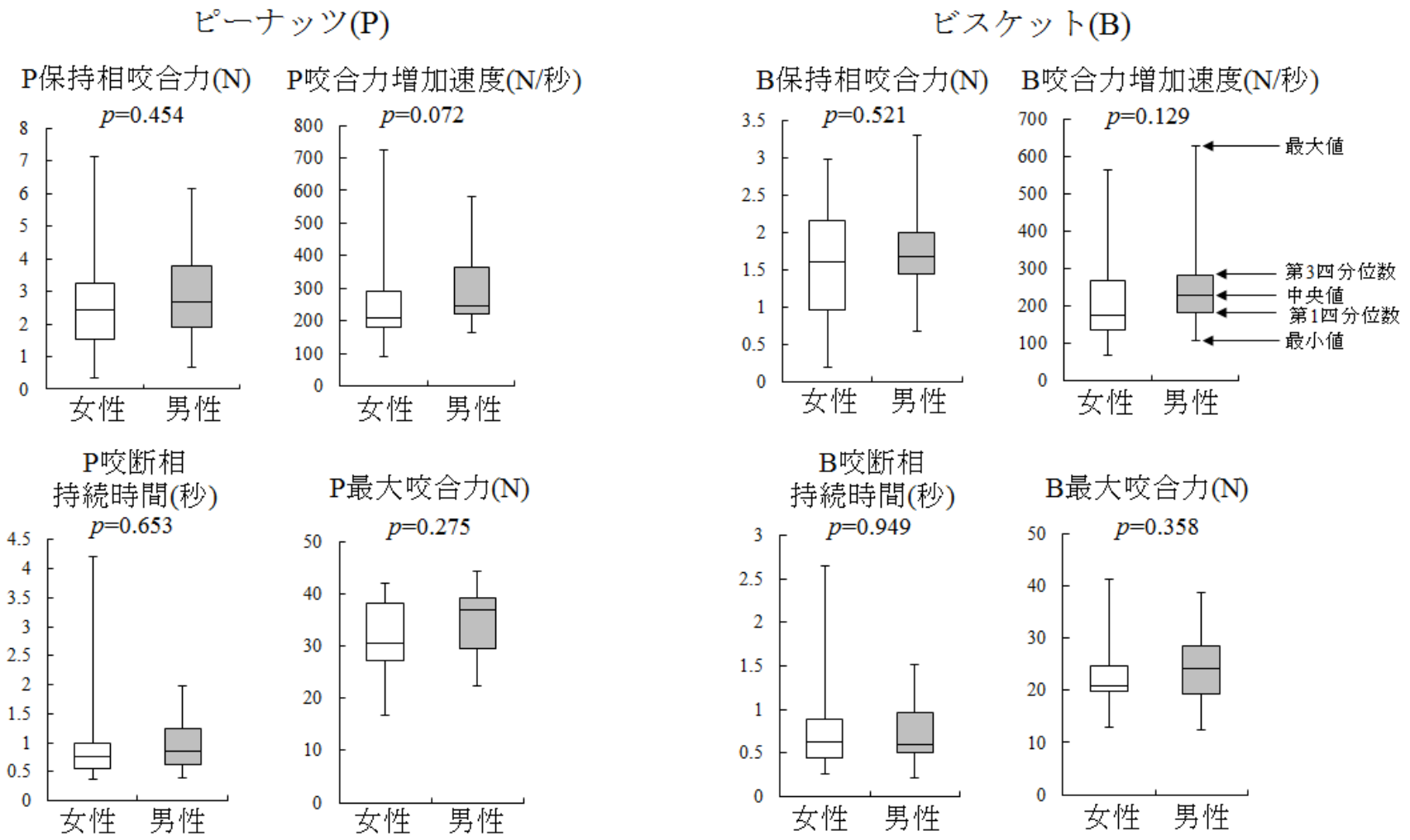


図 12.　性別と各評価項目との関係

Wilcoxon の符号付順位検定により，性別間での差について検討した．

いずれの評価項目についても性別間で有意差を認めなかった．

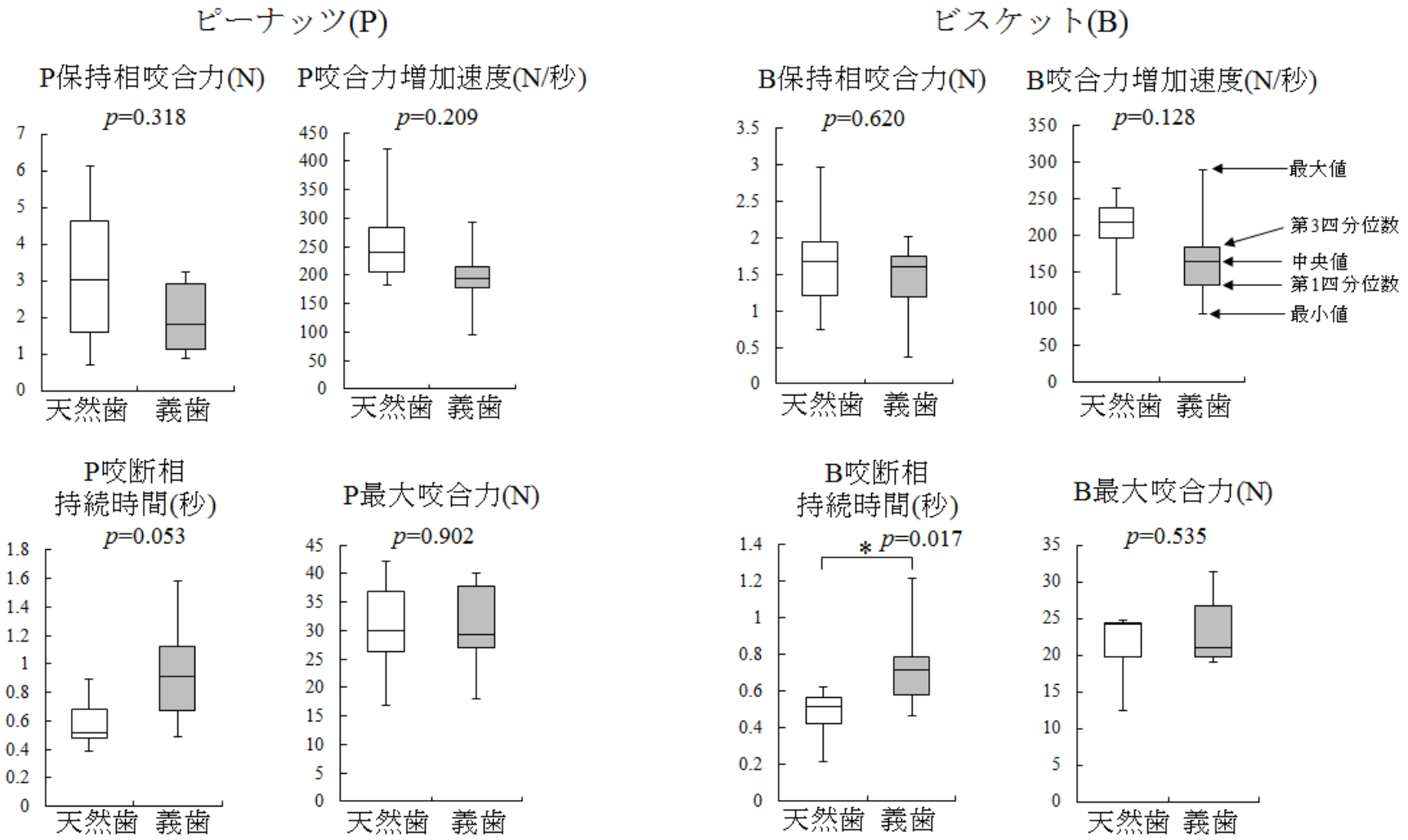


図 13.　IOD 群の対合歯の条件と各評価項目との関係

Wilcoxon の符号付順位検定により，IOD 群の対合の条件間での差について検討した.

表3　分析②-2の重回帰分析の結果

	年齢(歳)		性別		IOD		CD	
	β	*p*値	β	*p*値	β	*p*値	β	*p*値
P咬合力増加速度(N/秒)	0.034	0.842	-0.212	0.136	-0.424	0.008	-0.460	0.016
P咬断相持続時間(秒)	-0.059	0.692	0.151	0.223	0.088	0.518	0.708	<0.001
B咬断相持続時間(秒)	-0.063	0.629	0.204	0.063	0.134	0.261	0.825	<0.001

従属変数：P咬合力増加速度(N/秒), P咬断相持続時間(秒), B咬断相持続時間(秒)
独立変数：年齢(歳), 性別(男性=0, 女性=1), 補綴装置(参照カテゴリ=ND, IOD(1, 0), CD(0, 1))
β：標準化偏回帰係数，P：ピーナッツ，B：ビスケット

表4　平均義歯使用期間と咬断相持続時間との関係

	年齢(歳)		性別		補綴装置		平均義歯使用期間	
	β	*p*値	β	*p*値	β	*p*値	β	*p*値
P咬断相持続時間(秒)	-0.018	0.928	0.245	0.200	0.602	0.008	0.065	0.737
B咬断相持続時間(秒)	-0.026	0.883	0.274	0.110	0.680	0.001	-0.004	0.983

従属変数：P咬断相持続時間(秒), B咬断相持続時間(秒)
独立変数：年齢(歳), 性別(男性=0, 女性=1), 補綴装置(IOD=0, CD=1), 平均義歯使用期間(年)
β：標準化偏回帰係数，P：ピーナッツ，B：ビスケット