

学位論文

残存歯咬合支持能力診断法に関する研究

学位申請者 野上 敬介

広島大学大学院医歯薬学総合研究科
展開医科学専攻顎口腔頸部医科学講座
先端歯科補綴学研究室
(主任：菅井基行)

2014 年

第1章 緒論

残存歯の咬合支持能力を評価することは、部分無歯顎患者におけるブリッジや可撤性義歯の治療計画において極めて重要である。Ante の法則 (1926) では、ブリッジの設計における支台歯の総歯根膜表面積は喪失歯の総歯根膜表面積と等しいかそれ以上であると定義し、さらに、支台歯の歯根膜の長さは少なくとも健全歯根膜の 1/2~2/3 が必要としている (Johnston *et al.*, 1965; Lulic *et al.*, 2007)。このように、歯の咬合支持能力は、これまで歯根膜の表面積から導かれる歯根膜支持能力として考えられてきた。我が国で用いられているブリッジの抵抗性の判定に用いる指数 (多和田, 1964) は、この考え方に基づくものの、健全歯と仮定して算出した指数であるため、歯周組織の喪失による支持の変化は考慮されていない。また、歯周組織の喪失は、pocket depth, attachment level, 動揺度, デンタル X 線写真などにより臨床評価されるものの (Papapanou *et al.*, 1997), 歯周状態に応じた歯の咬合支持能力を具体的に数値化するには至っていない。

歯根膜支持能力を導く歯根膜表面積に関する従来の研究の中で、membrane method を用いた報告を表 1 に示した (Jepsen *et al.*, 1963; Hujoel *et al.*, 2001; Yamamoto *et al.*, 2006)。なかでも、Yamamoto らは、日本人の上下顎右側中切歯から第二大臼歯の 14 歯種について、各 30 抜去歯計 420 歯の attachment level : X (mm) の測定から、上下顎歯種別の残存歯根膜表面積率 Y (%) を予測する以下の (1) の式を導いた。

$$(1) \quad Y (\%) = a + bx \quad (1 \leq X < \text{歯種別歯根長})$$

ここでの a と b は、上下顎歯種別に設定された係数である。

Abe ら (2010) は、この式を用いて残存歯根膜表面積を予測し、Residual

Periodontal Ligament Index (rPLI) を考案している。rPLI を求めるにあたり、まず初期値としての Normal Periodontal Ligament Index (nPLI) を健全歯根膜表面積 (表 1) から以下の (2) の式で求めた。

$$(2) \quad nPLI = (\text{歯種別健全歯根膜表面積}) / \\ (\text{14 歯種合計健全歯根膜表面積}) \times 50$$

ここでの nPLI は上下顎 28 歯合計で 100 となるよう設定した。次いで、(1) と (2) を用いて、rPLI を以下の (3) の式で求めた。

$$(3) \quad rPLI = nPLI \times Y / 100$$

また、上下顎右側第三大臼歯については、複製根模型歯 (NISSIN, 京都) を用いて、Yamamoto ら (2006) と同様の方法で健全歯根膜表面積および近似式 (1) が導かれた。以上を整理し、上下顎第 3 大臼歯まで含めた歯種別の歯根長、健全歯根膜表面積、nPLI および rPLI を表 2 に示した。

本研究では、この nPLI と rPLI を用いて、残存歯の咬合支持能力診断法を開発できないかと着想した。しかしながら、nPLI と rPLI を咬合支持能力を表す指数として捉えるには臨床疫学研究が欠けている。

本研究の目的は、nPLI および rPLI を用いた残存歯咬合支持能力診断法を開発することを目指して、nPLI と rPLI の応用方法を検討することとした。

表 1 membrane method を用いた歯根膜表面積に関する疫学研究

歯種	歯根膜表面積 (mm ²)			平均	(SD)	
	Jepsen <i>et al.</i> (1963)	Hujoel <i>et al.</i> (2001)	Yamamoto <i>et. al.</i> (2006)			
上顎	1	204.0	202.0	200.7	202.2	1.7
	2	179.0	172.0	202.9	184.6	16.2
	3	273.0	290.0	291.9	285.0	10.4
	4	234.0	245.0	249.4	242.8	7.9
	5	220.0	237.0	232.9	230.0	8.9
	6	433.0	504.0	467.7	468.2	35.5
	7	431.0	408.0	368.4	402.5	31.7
計	1974.0	2058.0	2013.9	2015.3	42.0	
下顎	1	154.0	146.0	159.5	153.2	6.8
	2	168.0	173.0	180.0	173.7	6.0
	3	268.0	229.0	265.2	254.1	21.8
	4	180.0	205.0	237.5	207.5	28.8
	5	207.0	225.0	212.4	214.8	9.2
	6	431.0	387.0	432.8	416.9	25.9
	7	426.0	345.0	368.4	379.8	41.7
計	1834.0	1710.0	1855.8	1799.9	78.6	
合計	3808.0	3768.0	3869.7	3815.2	51.2	

表 2 membrane method を用いた歯根膜表面積に関する研究

歯種	歯根長 (mm)*	歯根膜表面積 (mm ²)*	nPLI	rPLI	
上顎	1	12.2	200.7	2.6	$2.6 \times (97.4 - 8.52X) / 100$
	2	13.4	202.9	2.6	$2.6 \times (97.7 - 8.73X) / 100$
	3	16.6	291.9	3.8	$3.8 \times (99.4 - 7.09X) / 100$
	4	12.9	249.4	3.2	$3.2 \times (98.2 - 8.53X) / 100$
	5	13.9	232.9	3.0	$3.0 \times (96.6 - 8.67X) / 100$
	6	13.5	467.7	6.0	$6.0 \times (102.4 - 8.28X) / 100$
	7	12.7	368.4	4.8	$4.8 \times (99.8 - 8.49X) / 100$
	8	11.3	190.8	2.5	$2.5 \times (95.3 - 10.6X) / 100$
下顎	1	12.0	159.5	2.1	$2.1 \times (98.2 - 8.00X) / 100$
	2	12.6	180.0	2.3	$2.3 \times (98.9 - 8.90X) / 100$
	3	14.9	265.2	3.4	$3.4 \times (98.7 - 7.67X) / 100$
	4	14.7	237.5	3.1	$3.1 \times (97.2 - 8.16X) / 100$
	5	14.0	212.4	2.7	$2.7 \times (96.5 - 8.56X) / 100$
	6	12.6	432.8	5.6	$5.6 \times (100.7 - 7.99X) / 100$
	7	12.6	368.4	4.8	$4.8 \times (98.9 - 8.42X) / 100$
	8	10.2	166.5	2.2	$2.2 \times (91.4 - 11.0X) / 100$

*Yamamoto ら (2006) の文献より (第三大臼歯を除く)

RPLI = NPLI \times (a + bX) / 100; X: attachment level (mm) (1 \leq X < 歯種別歯根長)

第2章 健全な上下顎歯種別の咬合支持能力の評価

1) 緒言

rPLIは、残存歯根膜表面積率を算出する式とnPLIから導き出された指数であり、残存歯の咬合支持能力を平均的な歯根膜表面積によって評価するものである。ブリッジにおける支台歯の選択や抜歯の基準、インプラントの選択および部分床義歯における床面積の決定などの補綴治療の計画を立てる際に、この指数を用いる妥当性を検証するためには、歯種別の咬合支持能力に関する臨床データを獲得する必要がある。そこで、健全な上下顎歯種別の咬合力、咬合接触面積および咬合圧を分析し、咬合支持能力を評価することとした。

2) 材料ならびに方法

(1) 被験者

被験者は広島大学の職員ならびに学生で、個性正常咬合を有する99名、平均年齢 24.7 ± 3.4 歳（男性49名、平均年齢 25.5 ± 3.6 歳、20-37歳；女性50名、平均年齢 23.9 ± 3.1 歳、20-35歳）である。なお、口腔悪習癖、重度不正咬合、顎関節症および動揺歯を有する被験者は対象から除外した。被験者をアングルの分類により分類すると、Ⅰ級71名（男性34名、女性37名）、Ⅱ級7名（男性3名、女性4名）、Ⅲ級19名（男性10名、女性9名）、分類不能2名であった。なお、本研究では広島大学疫学研究倫理委員会の審査・承認（第疫-331号）を得ており、各被験者には本研究の主旨を十分に説明し、同意を得た。

(2) 測定方法

各被験者に対して、咬合力検査フィルム (Dental prescale 50HR, GC, 東京) を用いて、以下の2通りの被検運動を記録した (図1)。

①咬頭嵌合位における最大咬みしめ3秒間

②可及的切端咬合位から咬頭嵌合位へ滑走運動して最大咬みしめ3秒間

被検運動①では、中村の採得方法 (2003) に準じて行い、被検運動②では、切端咬合位をとることが困難な被験者に対しては前歯でフィルムを咬合するよう指示した。また、最大咬みしめ時の上下顎歯種別の咬合接触状態を調べるために、咬合採得材 (Exabite II, GC, 東京) を用いて咬頭嵌合位における上下顎の咬合関係を記録した。

咬合力検査フィルムに印記された発色部位を咬合力検査装置 (Occluzer 707, GC, 東京) で解析し (図2)、咬合採得材の透過した部位とフィルムに印記された部位とを比較、同定することで、歯種別の咬合力、咬合接触面積および咬合圧を測定した。

(3) 統計学的分析

左右差、性差、被検運動の違いによる各測定値の比較には Student's t-test を、上下顎歯種別の咬合圧の比較には Kruskal-Wallis test, Sceffe's test をそれぞれ用い、有意水準 5% で統計学的分析を行った。

2) 結果

(1) 性別および被検運動の違いによる各測定値の比較 (表3)

①および②のいずれの被検運動においても、咬合力、咬合接触面積および咬

合圧の値に男女間で有意差は認められなかった ($P>0.05$)。被検運動の違いにおいて各測定値を比較すると、咬合力および咬合接触面積では、②が①より有意に大きな値を示した ($P<0.01$)。また、男性および全被験者の咬合圧では、②が①より有意に小さな値を示した ($P<0.05$) が、女性では有意差を認めなかった ($P>0.05$)。

(2) 左右、被検運動および性別の違いによる上下顎歯種別の各測定値の比較
被検運動①における臼歯部の歯種別の咬合圧を左右で比較すると、男性では上顎第二大臼歯 ($P<0.05$) において、女性では上顎第二小臼歯 ($P<0.01$) および下顎第一、第二大臼歯 ($P<0.05$) において有意差が認められた。また、被検運動②における臼歯部の咬合圧を歯種別に左右で比較すると、男性では上顎第一小臼歯 ($P<0.05$) において、女性では上下顎の第二大臼歯 ($P<0.05$) において有意差が認められた。

臼歯部の歯種別の咬合圧を被検運動①と②の間で比較すると、男性では上顎第一大臼歯および下顎第二大臼歯において有意差が認められたが ($P<0.05$) (表 4)、女性では認められなかった ($P>0.05$) (表 5)。

被験運動②における歯種別の咬合圧を男女間で比較すると、上顎第二小臼歯および上顎第二大臼歯において有意差が認められた ($P<0.01$)。

これらの結果から被検運動②より得られたデータを採用し、分析を行うこととし、上下顎歯種別の咬合力、咬合接触面積および咬合圧を表 6 に示した。上下顎歯種別の咬合圧を同顎の歯種間で比較すると、上下顎とも、大白歯部において、同顎の他の歯種と比較して有意に低い値を示した ($P<0.01$) (図 3)。また、同顎の前歯部、小臼歯部ではどの歯種間においても有意差は認められなかった。咬合圧の値は、中切歯 (上顎 62.5 ± 21.0 MPa ; 下顎 60.9 ± 22.0 MPa) か

ら後方に向かって次第に増加し、犬歯（上顎 68.3±22.9 MPa；下顎 69.2±27.6 MPa）もしくは第一小臼歯（上顎 68.3±24.7 MPa；下顎 67.8±25.0 MPa）で最大値を示し、第二大臼歯（上顎 50.0±10.0 MPa；下顎 49.3±8.7 MPa）まで急激に減少した。この歯種別の咬合圧の傾向は大臼歯部において nPLI と反対の傾向を示した（図 3）。

3) 考 察

本研究では、歯種別の咬合能力（：咬合力，咬合接触面積および咬合圧）の測定に感圧シートであるデンタルプレスケールを用いた。デンタルプレスケールを用いた咬合能力の測定は再現性があり，疫学研究を行う際に適した測定方法である（Miyaura *et al.*, 1999）。この方法を用いることで，性別，年齢，残存歯数，歯周状態，歯周外科治療などの様々な因子と，咬合力，咬合接触面積および咬合圧などの咬合能力との関係が示唆されてきた（Miyaura *et al.*, 1999; Morita *et al.*, 2003; Ikebe *et al.*, 2005; Alkan *et al.*, 2006; Ikebe *et al.*, 2012）。しかしながら，これらの研究で測定された咬合能力は，歯列全体を一つとして評価したものであり，歯種別に評価したものではない。

本研究の目的は，上下顎歯種別の咬合力，咬合接触面積および咬合圧の分析であるため，歯種別の咬合能力をできる限り正確に評価することが重要であった。しかしながら，デンタルプレスケールの厚さは約 98 μm あるため，咬合面に介在させると蝶番軸に近い歯列の後方部では測定値が大きくなり（山口ら，1995; 服部ら，1996; 野村ら，1997; 佐藤，1997; Sunardi ら，2001），前歯部の測定は困難であると報告されている。実際に，図 2 で示すような被検運動①および②の画像がほとんどの被験者で認められた。被検運動②を行うことで前歯部のデ

ータの記録が可能であり、デンタルプレスケールに印記された部位と咬頭嵌合位における咬合採得材の透過した部位とがほぼ一致していたことは、この被検運動が咬頭嵌合位における正しい咬合状態を再現できていることを証明している。

本研究における 2 通りの被検運動の結果、男女間で咬合力、咬合接触面積および咬合圧の値に有意差は認められなかった ($P > 0.05$) ので、全被験者から得られたデータの平均値を歯種別のパラメータとして分析を行った。しかしながら、被検運動別に咬合力および咬合接触面積を男女間で比較すると有意差は認められなかった ($P > 0.05$) もの、男性で大きい傾向を示していた (表 3)。

咬合力および咬合接触面積を被検運動①および②の間で比較したところ、被検運動①で有意に大きな値を示した ($P < 0.01$) のは、前歯部の記録が加わったことによるものと考えられる。そこで、臼歯部の咬合圧を被検運動①および②の間で比較すると、男性の上顎第一大臼歯および下顎第二大臼歯以外ではどの歯種においても有意差は認められなかった。臼歯部における歯種別の咬合力および咬合接触面積は第一小臼歯から第二大臼歯にかけて明らかな増加を示した。咬合力の大きさは、デンタルプレスケールの厚みの影響を受ける咬合接触面積の大きさに比例する傾向を示した。一方、咬合圧は、デンタルプレスケールの厚みの影響を排除したパラメータとして論理的に妥当なものであると考えられる。以上のことから、左右差、性差、被検運動の違いの影響を考慮して、被検運動②より得られた咬合圧を歯種別の咬合支持能力を表すパラメータとした。

上下顎の歯種別の咬合圧は、中切歯から次第に増加し、上顎では第一小臼歯、下顎では犬歯で最大値を示し、第二大臼歯まで急激な減少を示した。第一、第二大臼歯の咬合圧の傾向は、nPLI と反対の傾向を示した。大臼歯部での咬合圧が他の歯種と比較して小さかったことは、大臼歯部の粉砕、臼磨という機能を

果たすために加えられる大きな咬合力（高見沢, 1965; 服部ら, 1996）は、大きな咬合接触面積によるものであり、咬合圧によるものではないということを表している。また、歯種別の咬合圧は、歯種ごとの役割や歯冠の形態および植立部位などにより導かれたデータであり、咬合支持能力を評価するパラメータとして有用である（Abe *et al.*, 2012）。

しかしながら、歯種別の咬合圧をどのように咬合支持能力に応用すべきであるかは明らかとなっていない。そこで、歯種別の咬合圧の応用方法の具体例として、歯種別の咬合圧と歯根膜表面積率を表す nPLI との積を 28 歯合計 100 となるように表した指数を着想し、図 4 に示した。すると、上顎では第一大臼歯、犬歯、第二大臼歯の順に大きな値を示し、下顎においては第一大臼歯、第二大臼歯、犬歯の順に大きな値を示した。これらの値は、歯根膜の表面積と歯種ごとの役割や歯冠の形態および植立部位などにより導かれたデータである歯種別の咬合圧とが組み込まれた値であるので、咬合支持能力を評価する一例として妥当であると考えられる。

本研究では、主に 20 歳代を対象とした健全な上下顎歯種別の咬合支持能力を評価した。したがって、本研究から得られた歯種別の咬合圧のデータは nPLI に対応するデータであるため、rPLI に対応する咬合圧のデータを獲得する必要がある。一方、小島ら（2010）は、20 歳代から 60 歳代の各年代別に 100 名ずつの被験者に対して、デンタルプレスケールを用いて咬合能力を測定した結果、20 歳代と 60 歳代の間で咬合力、咬合接触面積および咬合圧の値に有意差を認めなかったと報告している。60 歳代の歯根膜表面積は生理的な歯槽骨の吸収から、20 歳代と比較して減少していると考えられるが、咬合圧の値に差がないことから、本研究より得られた歯種別の咬合圧は、歯根膜支持が喪失した歯にも対応できると考えられる。

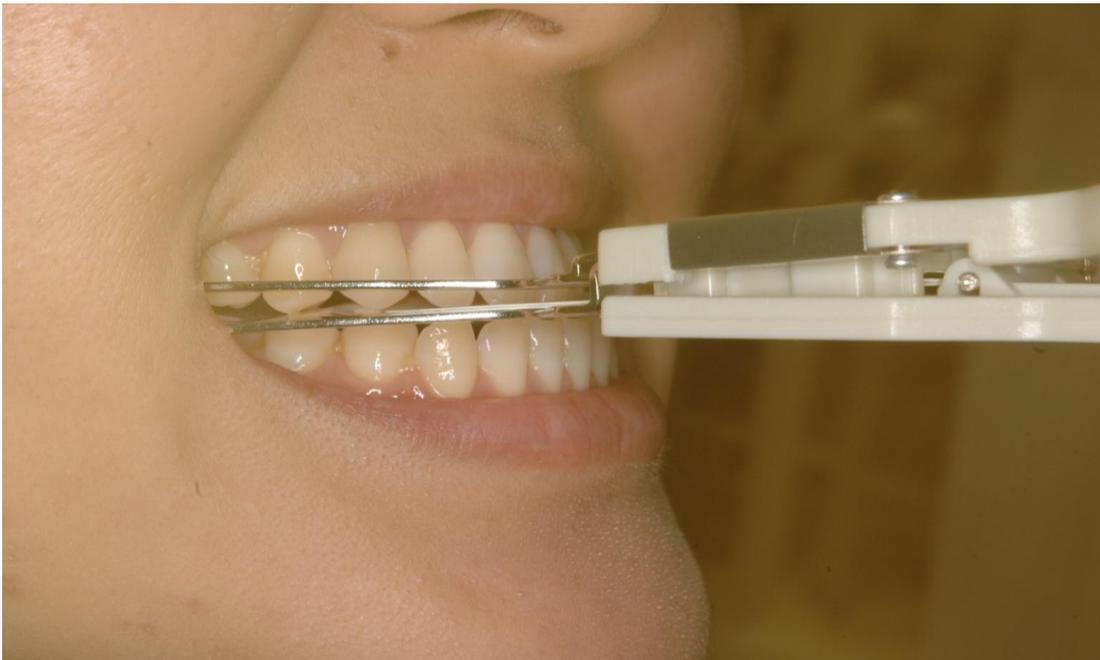
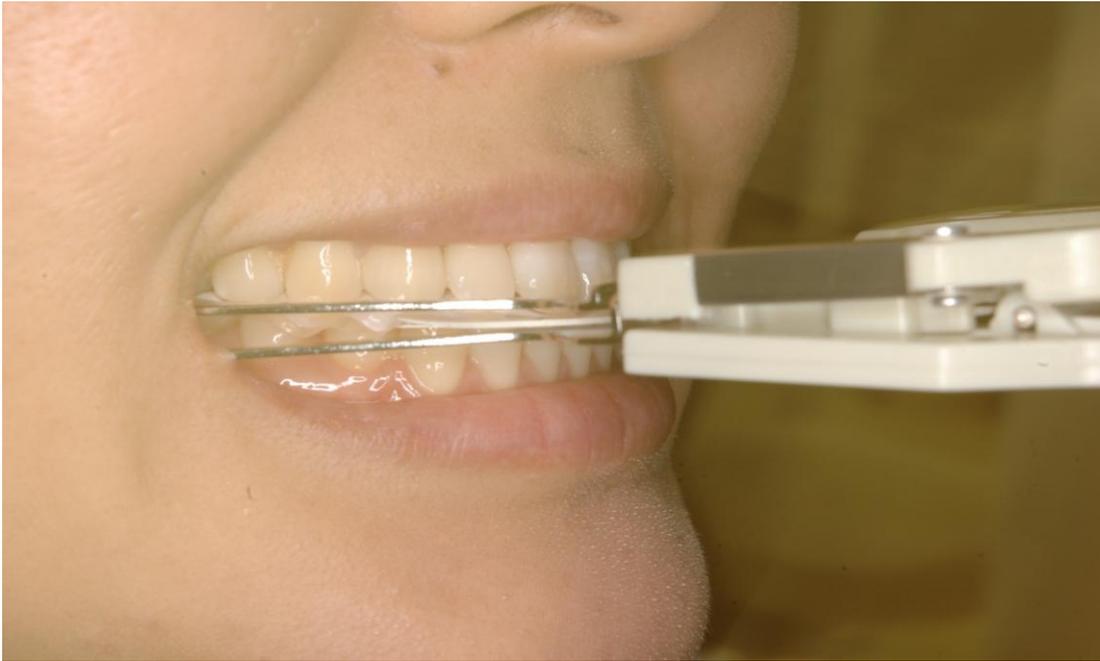


図1 被検運動①（上図）および被検運動②の開始位置（下図）

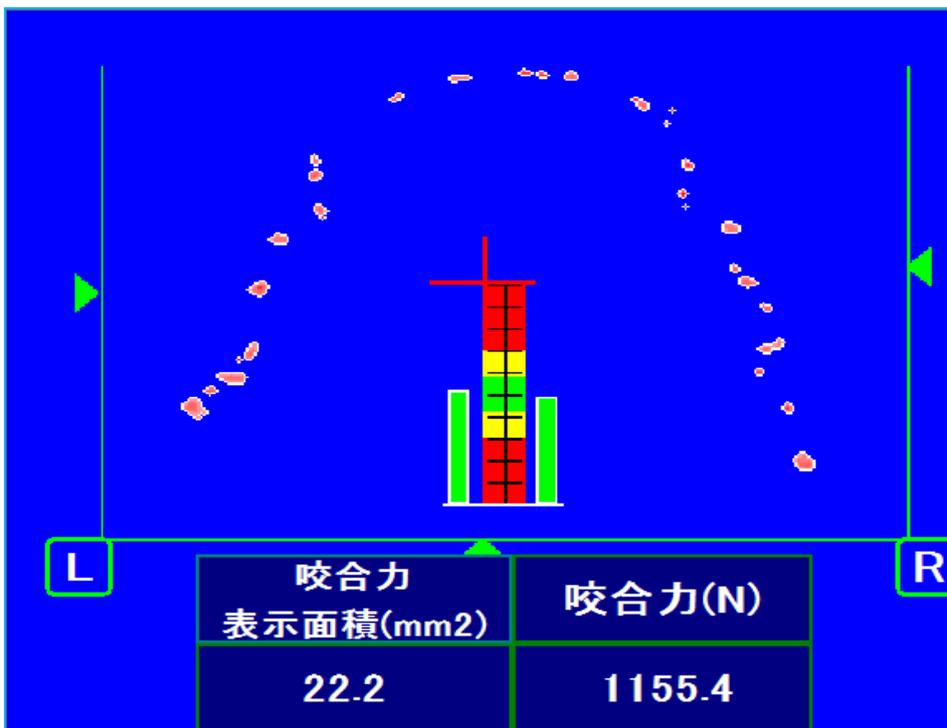
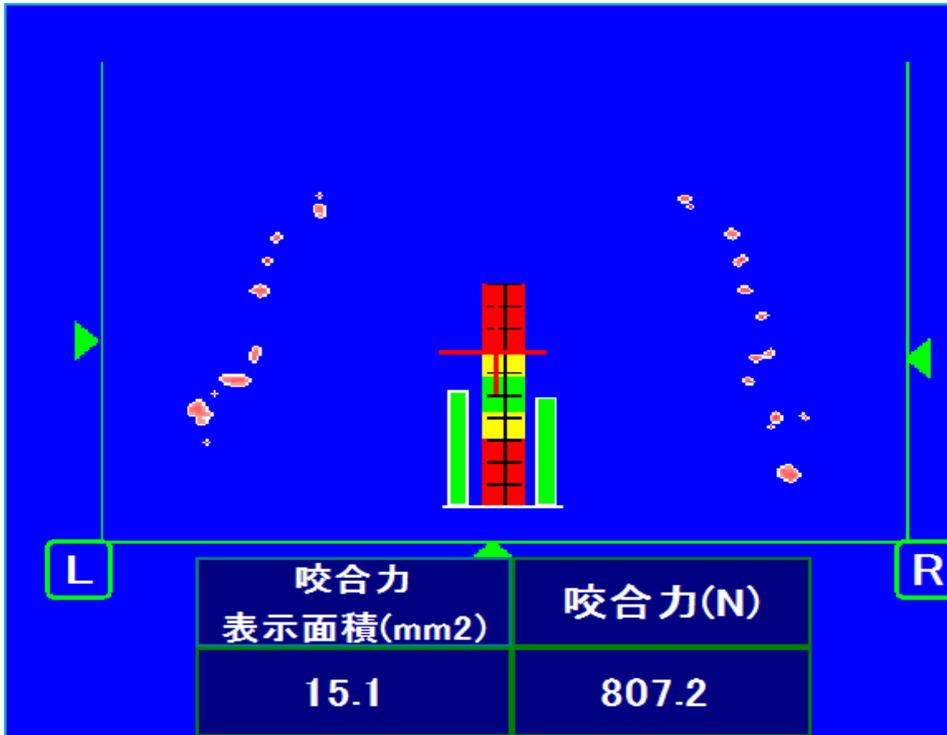


図2 分析ソフトの解析画面（上図：被験運動①，下図：被検運動②）
被検運動②では前歯部の記録が得られている。

表 3 性別および被検運動の違いによる各測定値の比較

性別	N	年齢		被検 運動	咬合力(N)				咬合接触面積(mm ²)				咬合圧(MPa)			
		mean	SD		Median	Mean	SD	95% CI	Median	Mean	SD	95% CI	Median	Mean	SD	95% CI
男性	49	25.5	3.6	①	779.3	777.3 ^a	261.5	73.2	14.2	15.5 ^d	6.4	1.8	51.7	52.5 ^g	7.3	2.0
				②	1060.6	1116.7 ^a	436.7	122.3	22.1	22.9 ^d	9.8	2.7	50.0	49.8 ^g	6.0	1.7
女性	50	23.9	3.1	①	654.1	680.5 ^b	289.7	80.3	13.1	13.4 ^e	6.7	1.9	52.1	53.1	7.4	2.1
				②	949.5	1022.3 ^b	409.1	113.4	18.7	20.4 ^e	9.6	2.7	52.1	51.9	6.0	1.7
合計	99	24.7	3.4	①	708.5	728.4 ^c	279.0	54.9	14.2	14.2 ^f	6.6	1.3	52.1	52.8 ^h	7.3	1.4
				②	995.2	1069.1 ^c	423.5	83.4	19.7	21.3 ^f	9.8	1.9	50.8	50.9 ^h	6.0	1.2

a,b,c,d,e,f : $P < 0.01$ g,h : $P < 0.05$

①および②のいずれの被検運動においても、咬合力、咬合接触面積および咬合圧の値に男女間で有意差は認められなかった ($P > 0.05$)。被検運動の違いにおいて各測定値を比較すると、咬合力および咬合接触面積では、②が①より有意に大きな値を示した ($P < 0.01$)。また、男性および全被験者の咬合圧では、②が①より有意に小さな値を示した ($P < 0.05$) が、女性では有意差を認めなかった ($P > 0.05$)。

表 4 被検運動の違いによる歯種別の咬合圧の比較（男性）

歯種	n	被検運動	咬合圧(MPa)				
			Median	Mean	SD	95% CI	
上顎	4	①	62.1	66.5	25.6	7.0	
		②	56.8	63.0	24.9	5.9	
	5	①	59.9	62.0	19.5	4.8	
		②	57.9	61.7	21.1	4.8	
	6	①	54.1	56.7*	13.2	2.6	
		②	51.7	53.1*	11.1	2.2	
	7	①	49.0	51.7	18.6	3.7	
		②	48.5	48.1	8.5	1.7	
	下顎	4	①	62.3	64.3	25.7	7.0
			②	61.2	64.7	24.9	5.8
		5	①	64.5	64.9	21.7	5.3
			②	59.9	63.7	26.3	6.0
		6	①	54.0	57.0	12.6	2.6
			②	52.3	54.2	12.5	2.5
7		①	49.2	51.1*	9.2	1.8	
		②	48.0	48.4*	8.3	1.6	

* $P < 0.05$

臼歯部の歯種別の咬合圧を被検運動①と②の間で比較すると、男性では上顎第一大臼歯および下顎第二大臼歯において有意差が認められた ($P < 0.05$)。

表 5 被検運動の違いによる歯種別の咬合圧の比較（女性）

歯種	n	被検運動	咬合圧(MPa)				
			Median	Mean	SD	95% CI	
上顎	4	①	66.8	67.6	27.4	7.4	
		②	67.5	60.4	23.7	5.4	
	5	①	62.9	52.8	25.4	6.1	
		②	60.9	52.8	19.7	4.3	
	6	①	52.5	60.0	12.5	2.5	
		②	51.8	56.4	9.7	1.9	
	7	①	50.6	56.5	12.6	2.5	
		②	51.3	58.3	11.0	2.2	
	下顎	4	①	65.0	65.6	30.3	9.3
			②	67.5	58.7	24.8	6.1
		5	①	61.9	61.3	23.1	5.5
			②	63.1	76.2	18.6	3.9
		6	①	52.7	63.2	10.5	2.1
			②	51.6	59.5	13.0	2.5
7		①	50.5	55.1	12.1	2.4	
		②	49.9	56.3	9.1	1.8	

臼歯部の歯種別の咬合圧を被検運動①と②の間で比較すると、女性ではどの歯種においても有意差は認められなかった ($P>0.05$)。

表 6 被検運動②より得られた歯種別の咬合力, 咬合接触面積および咬合圧

	Code	n	咬合力(N)				咬合接触面積 (mm ²)				咬合圧(MPa)			
			Median	Mean	SD	95% CI	Median	Mean	SD	95% CI	Median	Mean	SD	95% CI
上顎														
中切歯	U-CI	139	48.9	58.7	41.0	6.8	0.9	1.1	0.9	0.2	57.3	62.5	21.0	3.5
側切歯	U-LI	96	31.7	39.4	27.6	5.5	0.6	0.7	0.7	0.1	60.4	65.6	26.5	5.3
犬歯	U-C	114	30.7	38.1	23.8	4.4	0.5	0.7	0.5	0.1	62.3	68.3	22.9	4.2
第一小臼歯	U-PM1	142	36.6	43.2	30.7	5.0	0.7	0.8	0.7	0.1	64.5	68.3	24.7	4.1
第二小臼歯	U-PM2	156	38.3	49.4	34.7	5.4	0.6	0.9	0.8	0.1	60.1	63.3	20.4	3.2
第一大臼歯	U-M1	196	142.2	166.1	97.2	13.6	2.8	3.4	2.2	0.3	51.7	52.7	10.4	1.5
第二大臼歯	U-M2	195	187.5	211.1	124.6	17.5	3.7	4.5	3.0	0.4	49.3	50.0	10.0	1.4
下顎														
中切歯	L-CI	128	44.5	53.3	37.4	6.5	0.9	1.0	0.9	0.1	55.1	60.9	22.0	3.8
側切歯	L-LI	98	31.8	37.7	27.3	5.4	0.5	0.7	0.7	0.1	64.8	67.5	26.4	5.2
犬歯	L-C	100	31.1	34.4	20.5	4.0	0.5	0.6	0.4	0.1	62.9	69.2	27.6	5.4
第一小臼歯	L-PM1	134	33.2	40.7	27.7	4.7	0.6	0.7	0.6	0.1	63.7	67.8	25.0	4.2
第二小臼歯	L-PM2	159	38.1	45.9	31.9	5.0	0.6	0.8	0.8	0.1	61.5	65.6	22.4	3.5
第一大臼歯	L-M1	196	135.2	150.3	91.9	12.9	2.6	3.0	2.0	0.3	51.9	54.3	12.7	1.8
第二大臼歯	L-M2	196	205.4	236.4	129.7	18.2	4.3	5.1	3.2	0.4	48.9	49.3	8.7	1.2

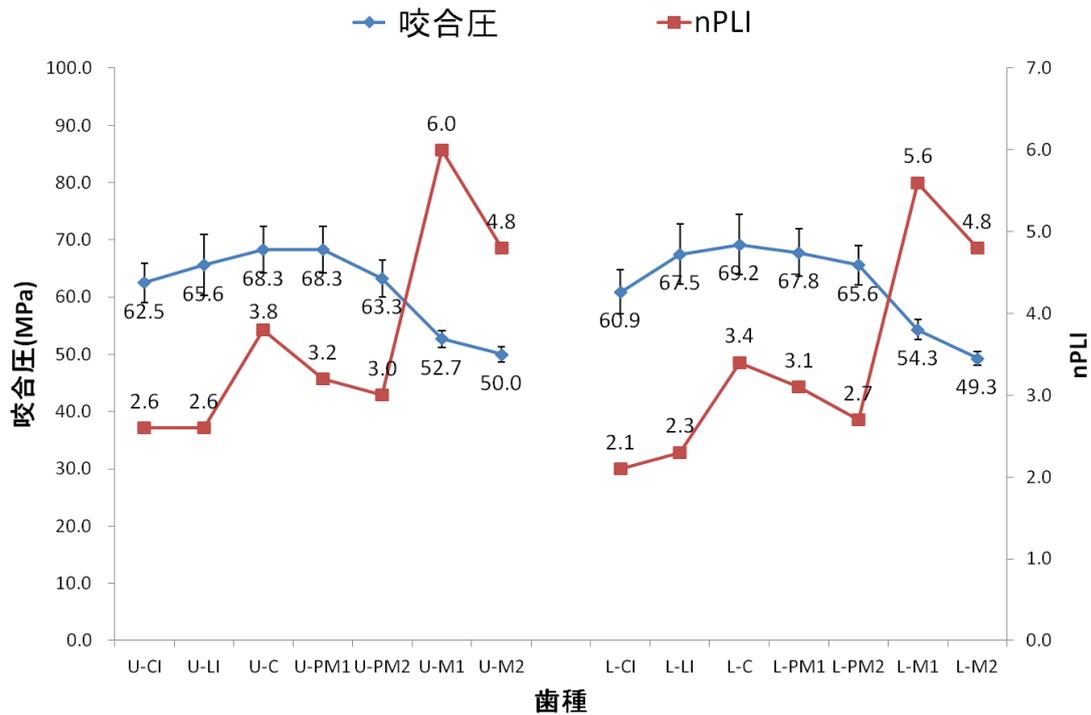


図3 歯種別の咬合圧と nPLI との対応

上下顎歯種別の咬合圧を同顎の歯種間で比較すると、上下顎とも、大白歯部において、同顎の他の歯種と比較して有意に低い値を示した ($P < 0.01$)。また、同顎の前歯部、小白歯部ではどの歯種間においても有意差は認められなかった。

咬合圧の値は、中切歯から後方に向かって次第に増加し、犬歯もしくは第一小白歯で最大値を示し、第二大臼歯まで急激に減少した。この歯種別の咬合圧の傾向は大白歯部において nPLI と反対の傾向を示した。

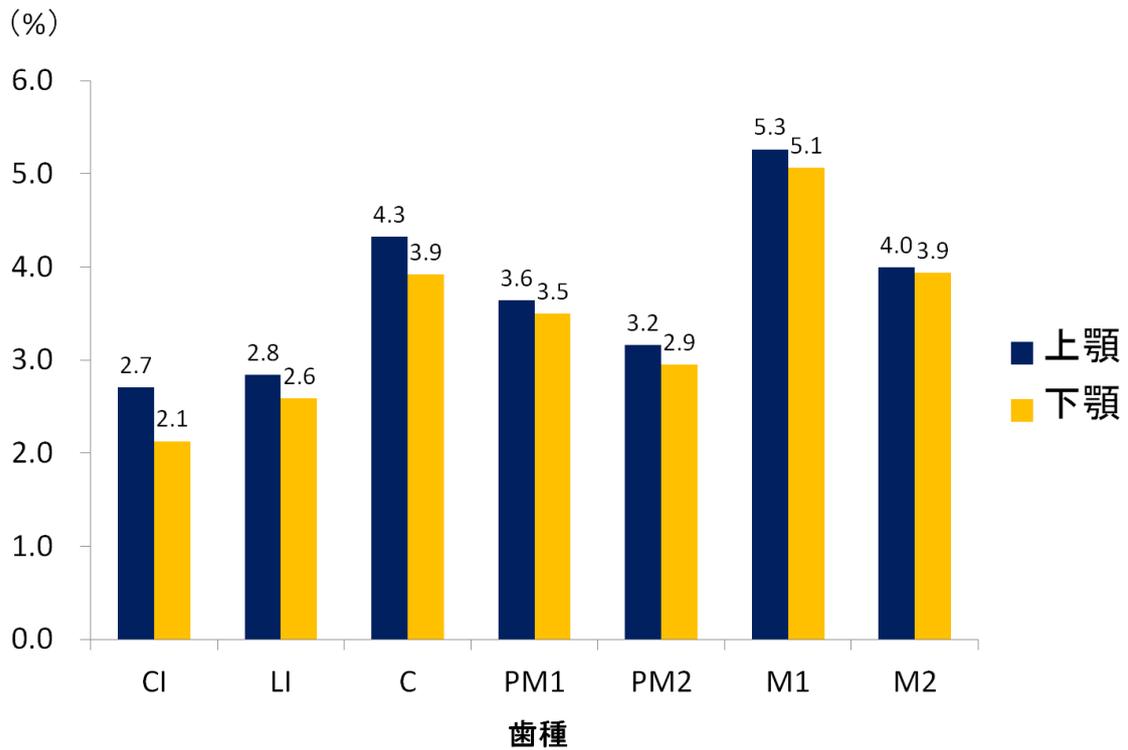


図4 歯種別の咬合圧と nPLI との積

上顎では第一大臼歯，犬歯，第二大臼歯の順に大きな値を示し，下顎においては第一大臼歯，第二大臼歯，犬歯の順に大きな値を示した。

第3章 歯根膜支持の喪失に伴った咬合支持能力の低下の検証

1) 緒言

第2章では、健全な上下顎歯種別の nPLI に対応する歯種別咬合圧が明らかとなった。しかしながら、どの歯槽骨レベルまで nPLI を適用し、どこから rPLI を適用すべきかは未だ明らかとなっていない。そこで、nPLI および rPLI の適用範囲を決定することを目的として、歯根膜支持の喪失に伴った咬合支持能力の低下について検証を行った。

2) 材料ならびに方法

(1) 任意の歯根膜長の設定

任意の歯根膜長の設定は、設定①健全歯根膜長、設定②健全歯根膜長-2 mm、設定③健全歯根膜長の 2/3、設定④健全歯根膜長の 1/2 とした (図 5)。

(2) 実験モデルの作製

アクリルレジン (Tray resin II, 松風, 京都) にて根模型歯植立用のモールドを上下顎中切歯から第二大臼歯までの各 14 歯種について、モールドの内径が 15 mm となるように作製した。モールド内面に接着剤を塗布し、シリコーン印象材 (Examixfine Injection type, GC, 東京) を注入し、複製根模型歯 (B2-306, NISSIN, 京都) を植立した。印象材が硬化した後、根模型歯を取り出し、モールドの断端が根模型歯のセメントエナメルジャンクション (CEJ) と一致するようにトリミングし、根模型歯を復位した (図 6)。

(3) 荷重-変位関係の測定

モールドを小型卓上試験機 (EZ Test EZ-SX, SHIMADZU, 京都) に固定し (図 7)、荷重-変位関係を 10 分の間隔で 3 回測定した。測定後、根模型歯をモールドから取り出し、モールドの断端が根模型歯の CEJ から 2 mm 下方になるよう

にトリミングした。そして、根模型歯をモールドに復位し、荷重－変位関係を測定した（図 8）。同様に、健全歯根膜長の 2/3 および 1/2 についても荷重－変位関係を測定した。

（4）測定条件

小型卓上試験機に直径 3 mm の球型押し治具（SHIMADZU, 京都）を装着し、クロスヘッドスピード 0.05 mm/min で負荷荷重試験を行い、側方変位量を測定した。負荷の方向は歯軸に対して垂直方向とし、負荷を与える位置は上顎では口蓋側、下顎では頬側に CEJ から歯冠側へ 4 mm の点とした。すべての条件に対して 3 回ずつ測定を行い、歯種別に、0.1 N の荷重が加わった際の健全歯根膜長の側方変位量に対する各設定における側方変位量の比を算出した。

3) 結 果

（1）上下顎前歯部の設定①の側方変位量に対する各設定における側方変位量の比

前歯部において、荷重 0.1 N 時の設定①における側方変位量に対する各設定の変位量は設定②で約 1.5～2 倍、設定③で 2～3 倍、設定④で 7～10 倍を示した（図 9）。

（2）上下顎小白歯部の設定①の側方変位量に対する各設定における側方変位量の比

小白歯部において、荷重 0.1 N 時の設定①における側方変位量に対する各設定の変位量は設定②で約 1.5～2 倍、設定③で 2～3 倍、設定④では、複根である上顎第一小白歯で約 5 倍示し、それ以外の歯では 7～9 倍と大きく変位した（図 10）。

（3）上下顎大白歯部の設定①の側方変位量に対する各設定における側方変位量の比

大白歯部において、荷重 0.1 N 時の設定①における側方変位量に対する各設定

の変位量は設定②で約 1.5 倍，設定③で 1.5～2 倍，設定④では，3 根である上顎大臼歯では約 3 倍，2 根である下顎大臼歯では約 5 倍を示した（図 11）。

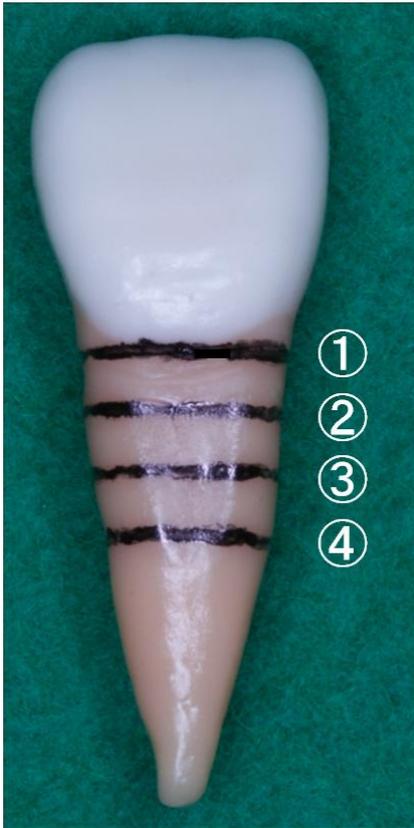
4) 考 察

任意の歯根膜長の設定は，健全歯根膜長，健全歯根膜長－2 mm，健全歯根膜長の 2/3，健全歯根膜長の 1/2 の 4 通りとした。これは，Ante の法則（1926）で支台歯の歯根膜の長さが健全歯根膜の 1/2～2/3 が必要である（Johnston *et al.*, 1965; Lulic *et al.*, 2007）としていることから，健全歯根膜の 2/3 および 1/2 について検証することとした。また，健全歯根膜長と健全歯根膜長の 2/3 の間である健全歯根膜長－2 mm も併せて任意の歯根膜長として設定した。

本研究では，側方変位量が著しく増大する歯根膜の支持レベルを明らかにすることを目的として，任意の歯根膜長に応じた側方変位量の測定を行った。したがって，荷重に対する変位が印象材の厚みにより影響されない必要があったため，歯根を取り囲む印象材は変位量に対して十分に大きい厚みとなるように，モールドの内径を 15 mm とした。また，荷重量として 0.1 N は，荷重に対する変位が印象材の厚みにより影響を受けない最小値であり，この値より小さな荷重では，3 回の測定値のばらつきが大きくなるため，各歯の荷重－変位の関係を明らかにすることはできなかった。また，歯根の形態に依存した変位量の変化を明らかにするため，負荷の方向は歯軸に対して垂直方向とし，負荷を与える部位は上顎で口蓋側，下顎で頬側とし，CEJ から歯冠側へ 4 mm の点とした。歯根を支持する材料には，人工歯の着脱を何度も繰り返すため，Craig *et al.* (1996) の報告を参考とし，寸法安定性に優れ，弾性ひずみを有し，かつ，永久変形の小さい付加型シリコーン印象材を選択した。

荷重 0.1 N における前歯部および小臼歯部の側方変位量は，健全歯根膜長における側方変位量に対して，健全歯根膜長－2 mm で 1.5～2 倍，健全歯根膜長の 2/3 で 2～3 倍であった。また，健全歯根膜長の 1/2 では，2 根である上顎第一小臼歯では約 5 倍，他の歯種では 7～9 倍を示した。大臼歯部での側方変位量は，

健全歯根膜長—2 mm で約 1.5 倍，健全歯根膜長の 2/3 で 1.5～2 倍であった。また，健全歯根膜長の 1/2 では，上顎大臼歯で約 3 倍，下顎大臼歯で約 5 倍を示した。このことは，歯根膜支持の喪失が 2/3 から 1/2 へ進むと，側方変位量が著しく増大し，特に，単根の歯で顕著となることを示している。側方変位量が増大するということは，動揺度が大きくなっても歯周組織の状態によっては，歯根膜や歯槽骨に対する応力が大きくなり得ることに留意しなくてはならない（Yoshida, 2003）。したがって，咬合支持能力を評価する際には，応力の集中を避けるため側方変位量が増大する歯根膜長において rPLI を適用すべきであると考える。したがって，歯根膜支持の喪失が健全歯根膜長の 2/3 から 1/2 の間で側方変位量が著しく増大することから，nPLI を健全歯根膜長の 2/3 まで適用し，2/3 以下では rPLI を適用すべきである。



- ①健全歯根膜長
- ②健全歯根膜長-2 mm
- ③健全歯根膜長の 2/3
- ④健全歯根膜長の 1/2

図 5 任意の歯根膜長の設定



図 6 実験モデルの完成

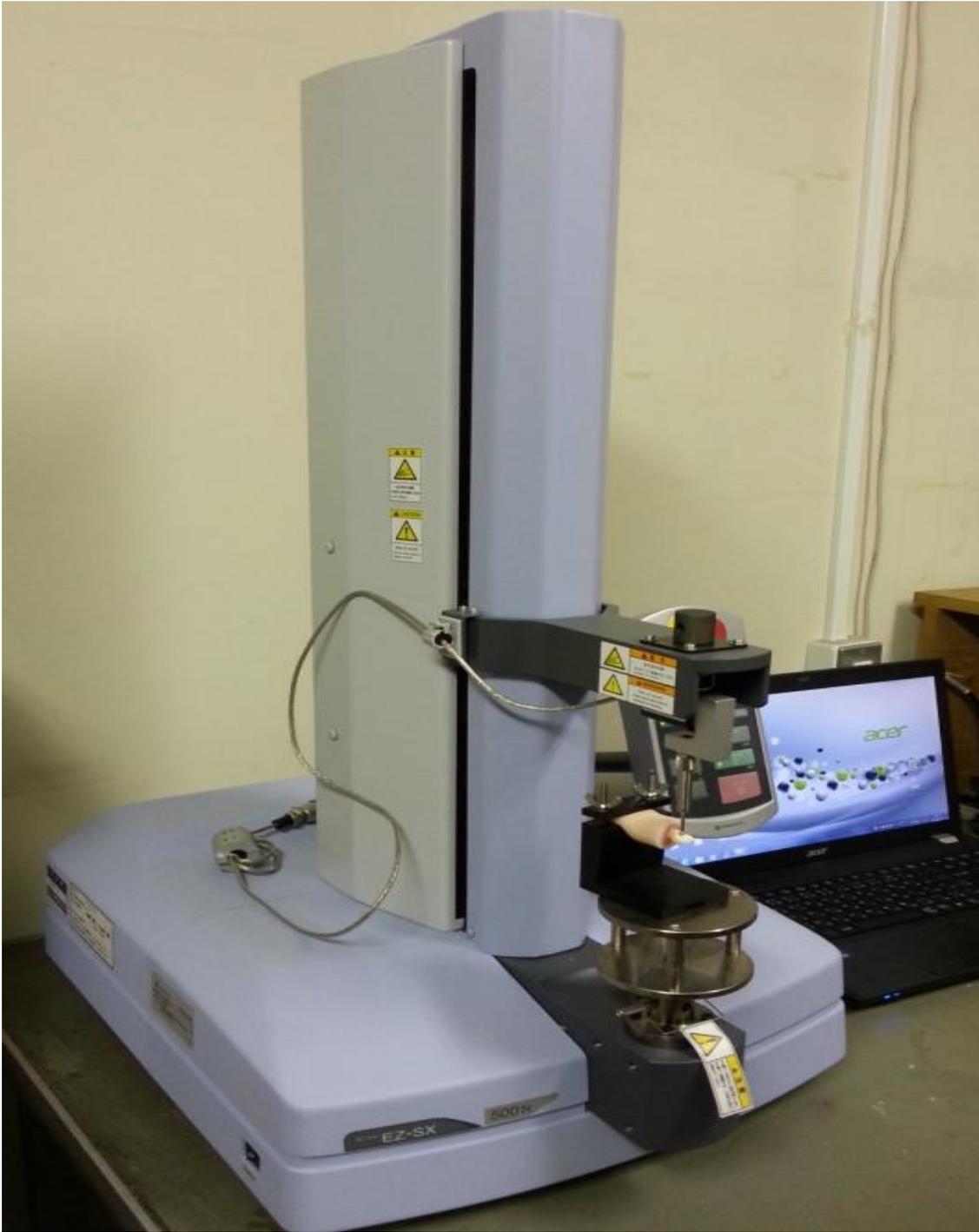


図 7 小型卓上試験機



図8 設定①健全歯根膜長 (左上), 設定②健全歯根膜長-2 mm (右上), 設定③健全歯根膜長の 2/3 (左下), 設定④健全歯根膜長の 1/2 (右下)

①：健全歯根膜長，②：健全歯根膜長-2 mm，③：健全歯根膜長の 2/3，④：健全歯根膜長の 1/2

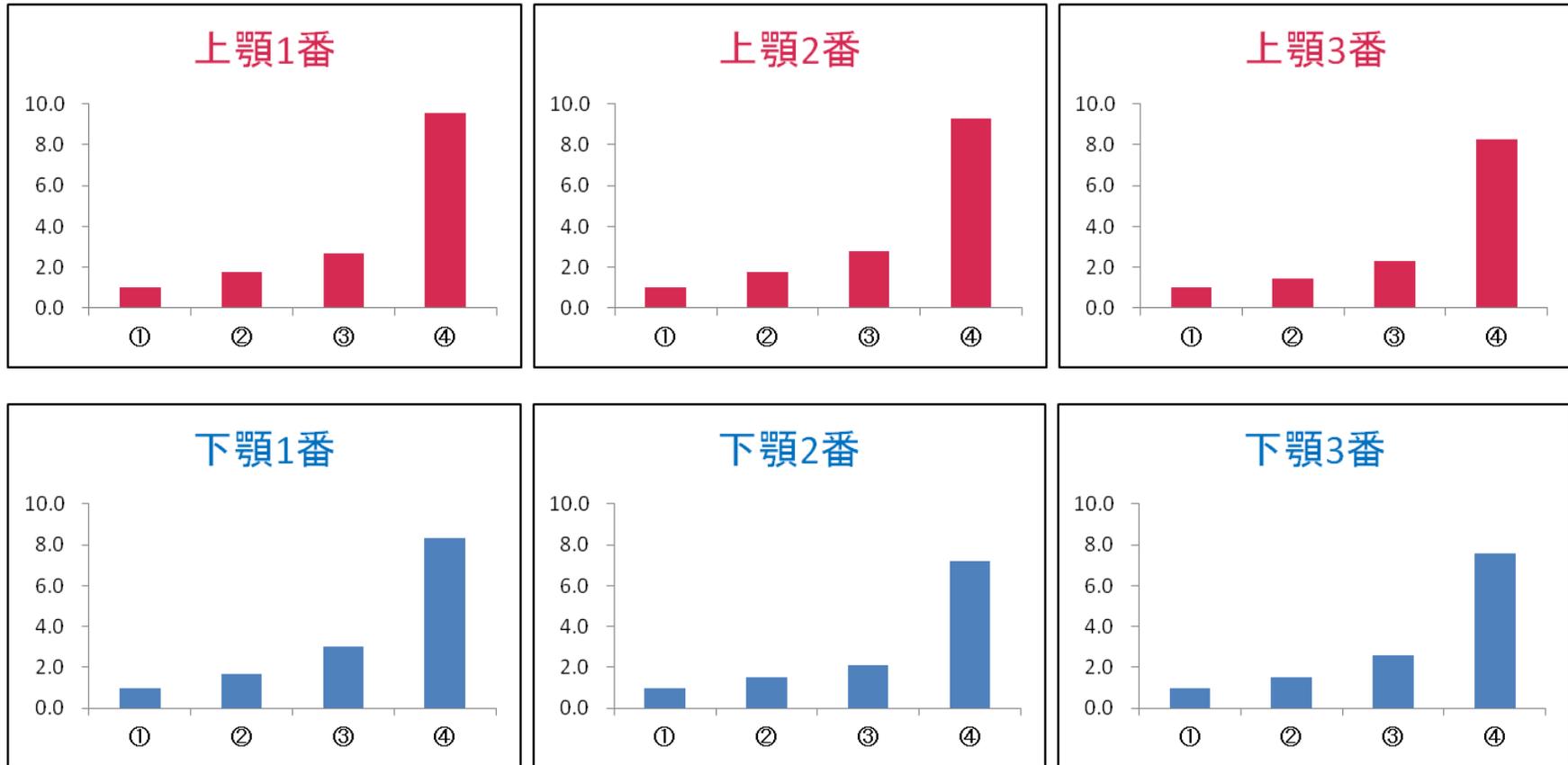


図9 上下顎前歯部の設定①における側方変位量に対する各設定における側方変位量の比

①：健全歯根膜長，②：健全歯根膜長－2 mm，③：健全歯根膜長の 2/3，④：健全歯根膜長の 1/2

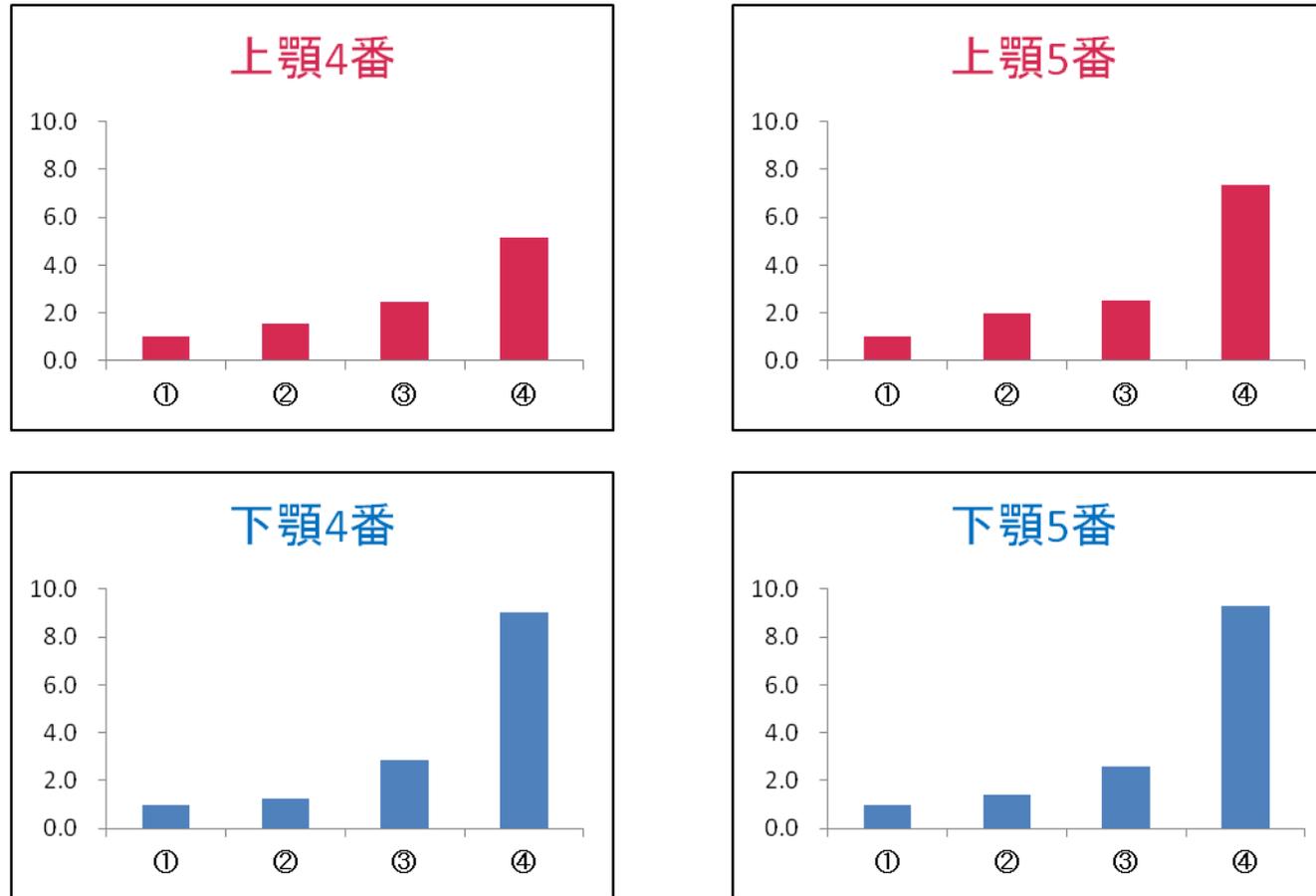


図 10 上下顎小白歯部の設定①における側方変位量に対する各設定における側方変位量の比

①：健全歯根膜長，②：健全歯根膜長-2 mm，③：健全歯根膜長の 2/3，④：健全歯根膜長の 1/2

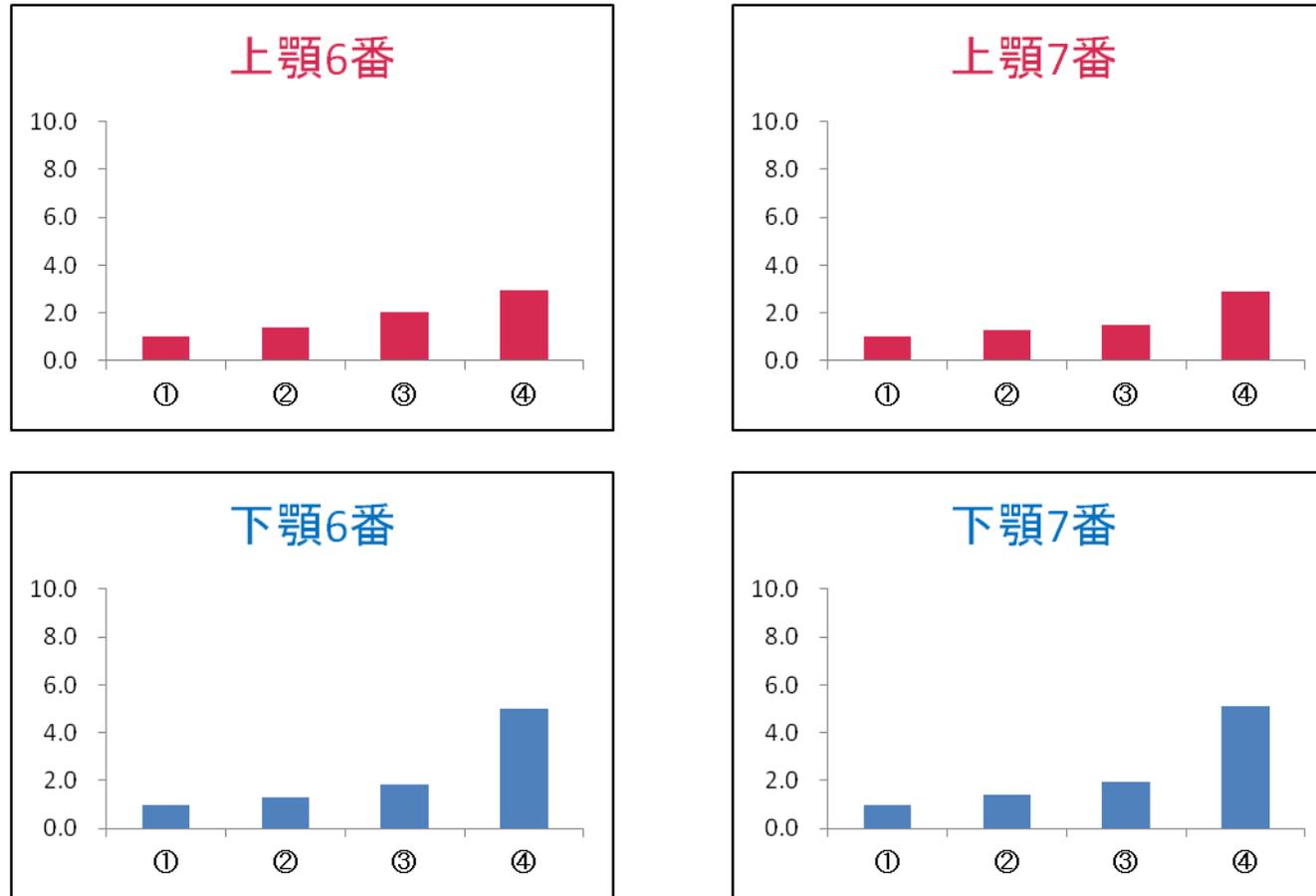


図 11 上下顎大白歯部の設定①における側方変位量に対する各設定における側方変位量の比

第4章 展 望

歯根膜支持能力指数である nPLI および rPLI は平均的臨床評価であるため、個々の残存歯の確定診断は、本研究で明らかになった歯種別の咬合圧 (Abe *et al.*, 2012) を含めた他の臨床評価と併せて行わなければならない。最近では、コーンビーム CT による撮影技術が歯科医療現場に普及し始めていることから、実際の残存歯の歯根膜表面積 (≒ 歯槽骨支持面積) を測定することが可能となるかもしれない。しかしながら、現時点では、具体的に数値を算出するプログラムは存在しない。また、残存歯の咬合支持能力に、個々の歯の歯周状態を反映させ数値化した報告は、Abe ら (2010) の報告のみで、nPLI や rPLI で示す歯根膜支持能力指数が平均的臨床評価であっても、これらの指数を用いて患者の咬合支持能力を数値化することは、補綴治療を行う上で大変意義深い。

残存歯の歯根膜支持能力指数の合計を咬合支持能力スコアと仮定し、咬合支持能力スコアを用いた一例を紹介する。短縮歯列 (Shortened Dental Arch: SDA) では、一般的に要求される機能歯は前歯部および小臼歯部である。SDA (Eichner B2) における咬合支持能力スコアは、残存歯が健全歯であると仮定すると、57.7 となった。Baba ら (2008) は、SDA における oral health-related quality of life の低下において、第一大臼歯の咬合支持の存在が重要な役割を担うと報告している。そこで、SDA に第一大臼歯の咬合支持を加えると Eichner B2 から A3 へと咬合支持域が増加するため、咬合支持能力指数は、81.0 となり 40% も向上することとなる。このように、残存歯咬合支持能力を数値化することは部分無歯顎の咬合状態を客観的に捉えることが可能となり、さらに、患者へのインフォームド・コンセントを行う際にも重要となる。

また、Eichner の分類に従った残存歯咬合支持能力スコアチャートを作成し、図 12 に示した。このチャートに示す各グループにおけるスコアの最小値および最大値は、残存歯が健全歯であると仮定した nPLI より算出したものであるが、実際には歯周病に罹患した歯では、attachment level が増加しているため、rPLI を用いて計算すると残存歯咬合支持能力スコアはより低い値へシフトする。ま

た、Eichner の分類の各グループに従った歯の喪失シミュレーションを nPLI を用いて計算し、残存歯咬合支持能力スコアを表 7 および図 12 に示した。この歯の喪失シミュレーションにおける推移を 1 つの基準として用いれば、各患者の残存歯咬合支持能力の変化を予測し、補綴治療の予知性を向上させることができるであろう。さらに、補綴治療による咬合支持能力の回復・改善を提示することができれば、患者の補綴治療への理解を深めることができる。ゆえに、咬合支持能力と補綴治療との相関を明示する新たなチャートを提言しなければならないと考えている。

Duchange や Vest らの指数は、世界的に認められておらず、日本においてのみ紹介され、これらの指数に修正を加えたものを日本の医療保険制度の中でブリッジ設計における支台歯選択のために用いられてきた。しかしながら、これらの指数は、支台歯を健全歯と仮定し、歯周組織の喪失による支持の変化が考慮されていない問題点がある。そこで、支台歯の歯周状態を反映することのできる nPLI および rPLI をブリッジの抵抗性の判定に応用できれば、予後の予測も含めた具体的なブリッジの設計が可能となるものと推察される。

今後は、これらの指数を用いて臨床疫学研究の中で、1. 抜歯の基準、2. ブリッジの支台歯の選択と予後、3. 可撤性義歯における支台歯の選択と咬合支持能力との関係、4. インプラントフィクスチャーの選択と咬合支持能力との関係、5. 部分無歯顎患者への補綴治療の在り方などの検討を行い、Evidenced-Based Dentistry (Carlsson, 2009) における nPLI および rPLI を応用した残存歯咬合支持能力スコアの有用性を明らかにしていくことが必要であると考えられる。

表 7 Eichner の分類に従った歯の喪失シミュレーションにおける残存歯咬合支持能力スコア

グループ	残存歯														咬合支持能力スコア		
A2	上顎	7	6	5	4	3	2	1		1	2	3	4	5	6	7	88.8
	下顎	7		5	4	3	2	1		1	2	3	4	5		7	
A3	上顎	7		5	4	3	2	1		1	2	3	4	5		7	76.8
	下顎	7		5	4	3	2	1		1	2	3	4	5		7	
B1	上顎	7		5	4	3	2	1		1	2	3	4	5		7	72.0
	下顎			5	4	3	2	1		1	2	3	4	5		7	
B2	上顎	7		5	4	3	2	1		1	2	3	4	5		7	67.2
	下顎			5	4	3	2	1		1	2	3	4	5			
B3	上顎					3	2	1		1	2	3	4				43.0
	下顎					4	3	2	1		1	2	3	4			
B4	上顎					3	2	1		1	2	3					33.6
	下顎					3	2	1		1	2	3					
C1	上顎					3						3					16.4
	下顎						2	1		1	2						
C2	上顎																15.6
	下顎						3	2	1		1	2	3				

咬合支持能力スコアは nPLI を用いて計算した。

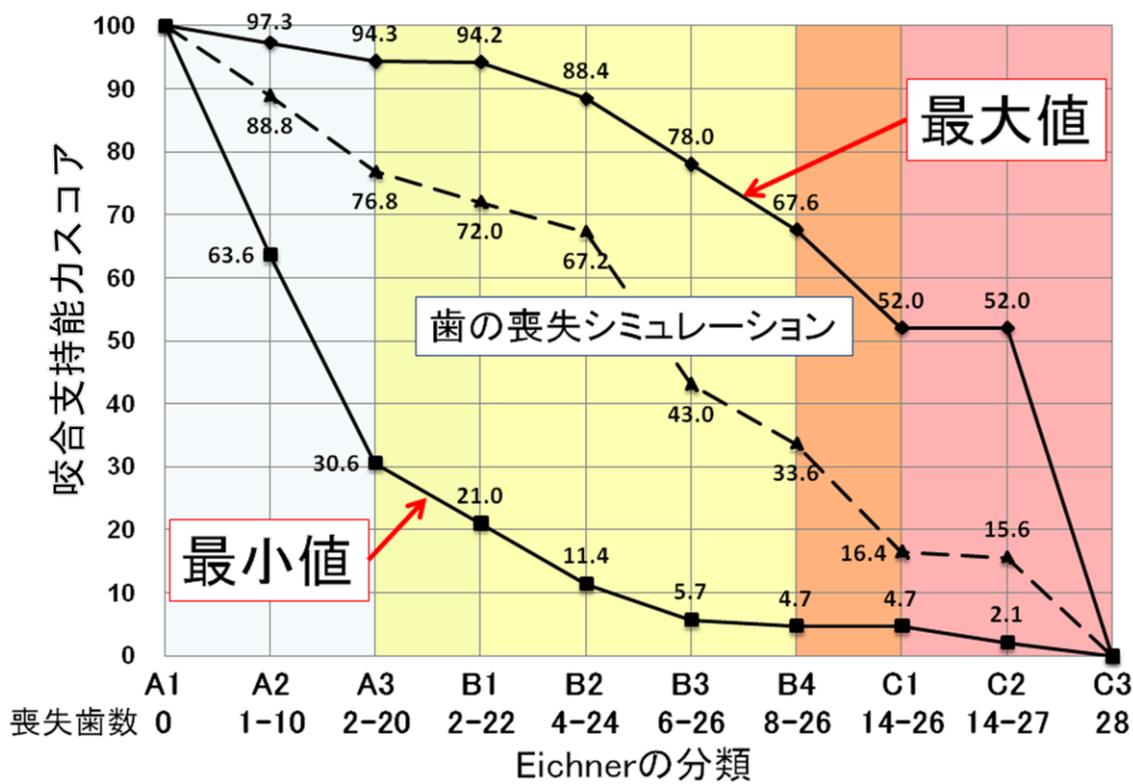


図12 Eichner の分類の各グループに従った残存歯咬合支持能力指数の最小値、最大値および歯の喪失シミュレーション

第5章 総括

本研究では、nPLI および rPLI を用いた残存歯咬合支持能力診断法を開発することを目指して、nPLI と rPLI の応用方法を検討した。

1. 咬頭嵌合位における歯種別の咬合支持能力を評価するために、可及的切端咬合位から咬頭嵌合位まで滑走運動させて最大咬みしめ 3 秒間という被検運動を行わせることで、前歯部も含めた歯種別の咬合力、咬合接触面積および咬合圧のデータを記録することができ、この被検運動が咬頭嵌合位における正しい咬合状態を再現していた。

2. 1 の被検運動より得られた上下顎歯種別の咬合圧において、上下顎の大臼歯 (49.3~52.7 MPa) は、同顎の他の歯種に比較して有意に小さな値を示し ($P < 0.01$)、また、同顎の前歯 (60.9~69.2 MPa)、小臼歯 (65.6~68.3 MPa) の各歯種間では有意差は認められなかった ($P > 0.05$)。以上より、上下顎歯種別の nPLI に対応する咬合圧が明らかとなり、健全な上下顎歯種別の咬合支持能力が示唆された。

3. 歯根膜支持の喪失が健全歯根膜長の 2/3 から 1/2 まで進むと、側方変位量が著しく増大することが明らかとなった。よって、rPLI を適用する範囲は健全歯根膜長の 2/3 以下が適切であると考えられた。

以上の結果より、nPLI に対応する上下顎歯種別の咬合圧が明らかとなり、健全な上下顎歯種別の咬合支持能力が示唆された。また、rPLI の適用範囲は健全歯根膜長の 2/3 以下が適切であると考えられた。以上のことから、残存歯咬合支持能力診断法の開発の可能性が示唆された。

文献

Abe Y, Nogami K, Mizumachi W, Tsuka H and Hiasa K. Occlusal-supporting ability of individual maxillary and mandibular teeth. *J Oral Rehabil* 2012; 39: 923-930.

Abe Y, Taji T, Hiasa K, Tsuga K and Akagawa Y. A proposed index for residual periodontal ligament support. *Int J Prosthodont* 2010; 23: 472-474.

Alkan A, Keskiner I, Arici S and Sato S. The effect of periodontal surgery on bite force, occlusal contact area and bite pressure. *J Am Dent Assoc* 2006; 137: 978-983.

Baba K, Igarashi Y, Nishitama A et al.. Patterns of missing occlusal units and oral health-related quality of life in SDA patients. *J oral Rehabil* 2008; 35: 621-628.

Carlsson GE. Critical review of some dogmas in prosthodontic. *J Prosthodont Res* 2009; 53: 3-10.

Craig RG: Restorative dental materials, 10th ed. 1996; 296-315.

服部佳功, 佐藤智昭, 渡邊 誠 : 咬みしめ時の強さと歯列における咬合力分布.
顎機能誌 1996; 2: 111-117.

Hujoel PP, White BA, Garcia RI et al.. The dentogingival epithelial surface area revisited. *J Periodont Res* 2001; 36: 48-55.

Ikebe K, Matsuda K, Kagawa R, Enoki K, Okada T, Yoshida M et al. Masticatory performance in older subjects with varying degrees of tooth loss. *J Dent* 2012; 40: 71-76.

Ikebe K, Nokubi T, Morii K, Kashiwagi J and Furuya M. Association of bite force with ageing and occlusal support in older adults. *J Dent* 2005; 33: 131-137.

Jepsen A. Root surface measurement and a method for X-ray determination of root surface area. *Acta Odontol Scand* 1963; 21: 35-46.

Johnston JF, Phillips RW and Dykema RW. 1 Preoperative study. In: Johnston JF, Phillips RW and Dykema RW, editors. *Modern practice in crown and bridge prosthodontics*. 2nd ed. London: W.B. Saunders Company; 1965; 3-18.

小島英治, 中村健太郎, 林 徳俊, 近藤康史, 倉田 豊, 浅井英匡, 岡本直樹, 小野沢秀樹, 辻 昌夫: 年代別における咬合力の統計学的検討, 補綴誌 2010; 2・119 回特別号: 186

Lulic M, Bragger U, Lang NP et al.. Ante's (1926) law revisited: a systematic review on survival rates and complications of fixed dental prostheses (FDPs) on severely reduced periodontal tissue support. *Clin Oral Impl Res* 2007; 18: 63-72.

Miyaura K, Matsuka Y, Morita M, Yamashita A and Watanabe T. Comparison of biting

forces in different age and sex groups: a study of biting efficiency with mobile and non-mobile teeth. *J Oral Rehabil* 1999; 26: 223-227.

Morita M, Nishi K, Kimura T, Fukushima M, Watanabe T, Yamashita F et al.. Correlation between periodontal status and biting ability in Chinese adult population. *J Oral Rehabil* 2003; 30: 260-264.

中村健太郎. デンタルプレスケール・テクニカル・インフォメーション 「デンタルプレスケールの上手な咬ませ方」 東京：株式会社ジーシー；2003.

野村修一，金谷 貢，河野正司，加茂剛介，中野周二，宮川 修：デンタルプレスケールを前後的咬合力分布測定に関する模型実験的考察. *補綴誌* 1997; 41: 710-718.

Papapanou PN and Lindhe Y. Chapter 2 Epidemiology of periodontal disease. In: Lindhe Y, Karring T and Lang NP, editors. *Clinical periodontology and implant dentistry*. 3rd ed. Copenhagen: Munksgaard 1997; 69-101.

佐藤智昭：正常者の歯列における咬合力分布に関する研究. *補綴誌* 1997; 41: 634~644.

Sunardi Grace Lusiana, 佐久間重光, 穂積英治, 山本司将, 加藤大輔, 吉田真琴, 伊藤 裕：垂直的咬合干渉付与による各歯が負担する咬合力の変化について. *愛院第歯誌* 2001; 39(1): 1~9.

高見沢 忠：健全永久歯の相対咬合力および個歯咬合力に関する研究．補綴誌 1965; 9(2): 217-236.

多和田泰一．第3編 架工義歯補綴編 VI 架工義歯の設計．歯冠補綴架工義歯学．京都：永末書店 1964; 431-445.

山口康彦，久恒泰宏，木村朋義，小松孝雪，内山洋一：デンタルプレスケールを用いた咬合接触部位の診査法に関する検討 咬頭嵌合位における咬合接触部位の検討について．補綴誌 1995; 39: 1113-1120.

Yamamoto T, Kinoshita Y, Tsuneishi M et al.. Estimation of the remaining periodontal ligament from attachment-level measurements. J Clin Periodontol 2006; 33: 221-225.

Yoshida N, Jost-Brinkmann PG, Koga Y and Kobayashi K The effect of tooth and bone geometry on the tipping tendency of single-rooted teeth. Kieferorthop 2003; 17: 317-321.

謝辞

本研究に際し、終始御懇篤なる御指導ならびに御校閲を賜りました本学大学院医歯薬保健学研究院応用生命科学部門先端歯科補綴学研究室 赤川安正名誉教授（現奥羽大学学長）ならびに本学大学院医歯薬保健学研究院基礎生命科学部門細菌学研究室 菅井基行教授に衷心より感謝の意を表します。また、本論文作成上、御教示、御校閲を賜りました本学大学院医歯薬保健学研究院統合健康科学部門口腔生物工学研究室 二川浩樹教授、本学大学院医歯薬保健学研究院基礎生命科学部門 高田隆教授ならびに本学大学院医歯薬保健学研究院応用生命科学部門先端歯科補綴学研究室 津賀一弘教授に深厚なる謝意を表します。また、本研究を行うに当たり、御助言、御協力をいただきました本学大学院医歯薬保健学研究院応用生命科学部門歯科放射線学研究室 谷本啓二教授ならびに本学大学院医歯薬保健学研究院統合健康科学部門 入船正浩教授に深厚なる謝意を表します。

終始本研究の御指導をいただきました広島大学病院口腔維持修復歯科口腔インプラント診療科 阿部泰彦講師に深く感謝いたします。なお本研究を進めるにあたり御協力いただきました本学先端歯科補綴学研究室の諸先生方に感謝いたします。