

光弾性実験法による歯槽骨 および顎堤の力学的研究 —遊離端義歯の間接支台装置設 置部位の相違が及ぼす影響—

Photoelastic Analysis of Alveolar Bone and
Residual Ridge
—Indirect Retainer Position with Unilateral
Distal Extension Partial Denture—

内田 耕司

キーワード：局部床義歯、間接支台装置、
歯槽骨、顎堤、応力解析



(うちだ・こうじ)
ICDフェロー
日本大学大学院歯学
研究科歯科臨床系専攻

I. 緒 言

局部床義歯は、咬合圧の負担形式により、歯負担性、粘膜負担性および歯・粘膜負担性義歯とに分類¹⁾されている。

佐藤ら²⁾は、日本大学歯科病院における局部床義歯の実態調査を行い、下顎の片側性遊離端欠損症例が47.1%と最も多く、ついで両側性遊離端欠損症例が45.0%と報告しており、これは、歯・粘膜負担性義歯症例が多いことを示している。

適正な歯・粘膜負担性義歯を調製するための要件は、支台歯および顎堤に咬合圧を均等に配分し、義歯の動揺を最少にすること^{3, 4)}であり、そのためには、義歯に加わる咬合圧の分散、すなわち義歯床の大きさ、人工歯の咬合面の大きさおよび咬合平衡を配慮した人工歯排列などを考慮し、さらに、非欠損側に間接支台装置を設置することが推奨されている^{5, 6)}。これに関しては種々の報告^{5~15)}が見られるが、松元ら¹⁴⁾は、下顎片側性遊離端欠損症例について、非欠損側に間接支台装置設置の有無が義歯の動揺量にどのように影響するかを種々の顎堤形態から検討し、間接支台装置の設置は、義歯の動揺を減少させるのに有効であると報告している。

しかし、この報告¹⁴⁾は、間接支台装置を非欠損側に1個設置する症例での検討であり、そのより良い義歯床の安定と直接支台装置が設置される支台歯の負担軽減とを図るためには、鉤間線を2本とする設計が望ましいが、これに関する検討はみられない。

そこで著者は、下顎右側遊離端欠損症例について、2個の間接支台装置設置部位の相違が、直接支台装置の設置された歯槽骨および欠損部顎堤に与える力学的影響を解明する目的で、欠損部顎堤の吸収状態の異なる4形態について、間接支台装置設置部位の異なる3タイプの義歯の支台歯歯槽骨および欠損部顎堤の力学的様相を、三次元光弾性実験による応力解析から検討した。

II. 材料および方法

光弾性モデルの製作および被験義歯の製作に用いた材料および方法は、表1に示した^{16~29)}。

表1 材 料
table. 1 Materials

	材 料	用 途	商品名	会社名	Batch NO
光弾性モデル	下顎骨複製模型	原型模型	P10-SB-1L	ニッシン	100790
	型どり材	印象採得	KE 1300	信越化学	108087
	エポキシ樹脂	歯	CT-200 (100:28)	Caba	8239
	エポキシ樹脂	下顎骨	CT-200 (100:30)	Caba	8239
	RTV,シリコンラバー	顎粘膜, 歯根膜	RTV-4168	Dow Corning	kk116337
被験義歯	シリコン印象材	精密印象採得	EXAMIXFINE	ジーシー	091071
	石膏	作業模型	REGULAR TYPE	ジーシー	100531
	寒天印象材	耐火複製模型印象採得	Fujirock	松風	049755
	耐火複製模型材	耐火複製模型	モデルゲル	松風	019630
	既製プラスチックパターン	パターン	スノーホワイト	Ticonium	DEC10193
	コバルトクロム合金	フレームワーク	Ti-Forms Summalloy-Titan	ジーシー	118223
	床用加熱重合型レジン	義歯床	アーバン	松風	liquid 089,690 powder029,775

1. 光弾性モデルの製作

光弾性モデルの歯は、下顎骨複製模型の歯を型どり材（信越化学）を用いて印象採得し、その印象陰型を 1 atm、130℃ に設定した送風定温恒温器（DN600、ヤマト科学）内で 3 時間加温係留して、130℃ に加熱して溶解した歯根部歯質の弾性率の比に準拠するように調整したエポキシ樹脂（アラルダイトCT200、Caba）を上記の陰型に注入し、模型を製作した（図 1、図 2、表 1）。

光弾性モデルの下顎骨は、上記の歯と同様の方法で製作した。

なお、光弾性モデルは、その製作時に発生したひずみを完全に除去するため焼鈍操作を行い、モデル内に発生した応力を完全に開放してから、実験に供した。

2. 被験義歯の製作

765|欠損の被験義歯（以後、義歯と略記）は、4|に



図1 光弾性モデル（モデル1）
fig. 1 Photoelastic model (model 1)

直接支台装置としてKratochvil TypeのRPIクラスプを用い、前方の間接支台装置として4|に近心レストを設置し、バーによって連結する設計とし、これを基本義歯とした。

3タイプ義歯は、基本義歯の後方の間接支台装置の設定部位を5|、6|および7|と変化させることとし、5|に設置したものをタイプ1義歯、6|に設置したものをタイプ2義歯、7|に設置したものをタイプ3義歯とした（図3）。

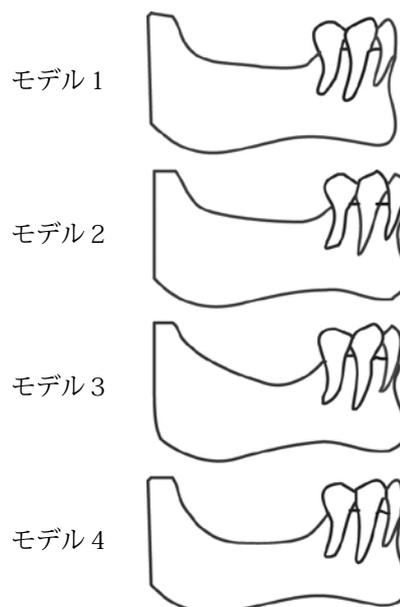


図2 顎堤形態の模式図
fig. 2 Residual ridge from types



タイプ1 義歯

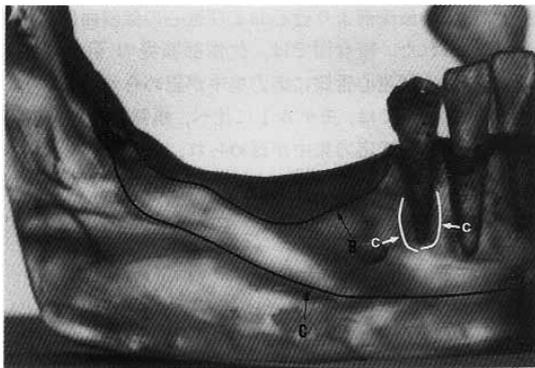


タイプ2 義歯

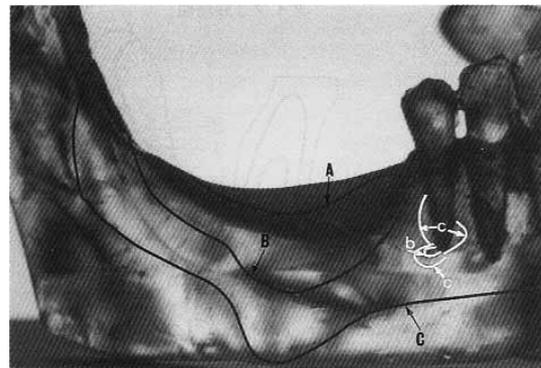


タイプ3 義歯

図3 被験義歯
fig. 3 RPD designs

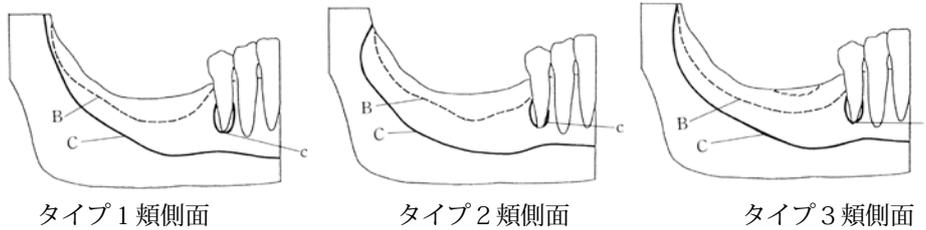


モデル1・タイプ1 義歯



モデル2・タイプ1 義歯

図4 等色線写真の代表例
fig. 4 Typical examples Photoelastic Fringes



タイプ1 頬側面

タイプ2 頬側面

タイプ3 頬側面

図5 モデル1の最大せん断応力分布図
fig. 5 Max. sheatstress distribution chart model 1

3. 応力分布の解析

応力解析は、散乱光型光弾性実験装置 (DP-400、理光研社) を用い、12個の光弾性モデルについて、等色線写真 (図4) を撮影して行った。この等色線写真から、最大せん断応力分布図を作成し、矢状面の頬側 (以後、頬側面と略記) および水平面の咬合面 (以後、咬合面と略記) から応力分布の解析を行った。

4. 評価法

応力分布の評価は、最大せん断応力により評価した²⁹⁻⁴⁰⁾。図4に示すように、0.038kgf/mm²の最大せん

断応力が分布する領域を等色線 (応力縞) Aで囲み、0.025 kgf/mm²の最大せん断応力が分布する領域を等色線 (応力縞) Bおよびbで囲み、0.013kgf/mm²の最大せん断応力が分布する領域を等色線 (応力縞) Cおよびcで囲み、各等色線 (応力縞) のトレースを行い、最大せん断応力分布図を作図した。

Ⅲ. 成 績

1. モデル1、モデル2、モデル3、モデル4
最大せん断応力分布は、図5～8に示した。

IV. 考 察

本研究は、右側片側性遊離端欠損症例の非欠損側に設置する間接支台装置を2個とする設計とし、その設置部位の相違が、直接支台装置の支合歯歯槽骨および欠損部顎堤の応力分布に及ぼす影響を、顎堤形態の異なる4種について検討した。

骨吸収のほとんど見られない顎堤形態であるモデル1(図5)では、タイプ1、2および3義歯の3タイプともに、支台歯歯槽骨および欠損部顎堤のいずれにも応力集中が認められなかった。これは、後方に設置する間接支台装置を[5]、[6]および[7]のいずれに設置しても力の均等配分が得られることが推察されるが、このモデル1は、顎堤が鞍状であることから、垂直方向の荷重が顎堤形態に沿って均等に分配されたためと考えられた。

モデル1に比較して、[6]相当部で頬舌径が0.5mmに狭窄した形態のモデル2(図6)では、後方の間接支台装置を[5]に設置したタイプ1義歯および[6]に設置したタイプ2義歯で、欠損部顎堤および直接支台装置の支台歯歯槽骨で応力集中を認め、欠損部顎堤は、咬合面からの観察により頬側および舌側に応力集中が認められた。このことから、後方の間接支台装置を[5]に設

置したタイプ1義歯および[6]に設置したタイプ2義歯では、支台歯の負担が強く、咬合圧の均等配分が得られ難いことが推察された。

しかし、後方の間接支台装置を[4]に設置したタイプ3義歯では、欠損部顎堤および直接支台装置の支台歯歯槽骨で、特定の部位に応力集中が認められなかった。そのため、モデル2のような顎堤形態の場合には、タイプ3義歯の設計をすることにより力が均等に分散されることが推察された。

モデル2での義歯への垂直荷重は、顎堤形態が狭窄しているため、顎堤に加わった力のベクトルは側方の分力が優位となり、義歯に回転力として働き、欠損部顎堤の頬側に応力が集中したと考えられた。片側性遊離端義歯の欠損側と非欠損側の力の釣り合いは、竹井⁷⁾が報告しているように顎堤頂を支点とする第1級挺子もしくは第3級挺子と考えられ、これらの場合は、支持力および維持力を求める位置としては支点から可及的に遠い位置が良い⁷⁾とされている。そのため、タイプ3義歯によって、直接支台歯への応力が減少し、顎堤の形態に沿った応力分布が見られたことから、義歯の安定性が増したと考えられた。

[6]相当部の顎堤吸収が大きいモデル3(図7)では、後方の間接支台装置を[5]に設置したタイプ1義歯およ

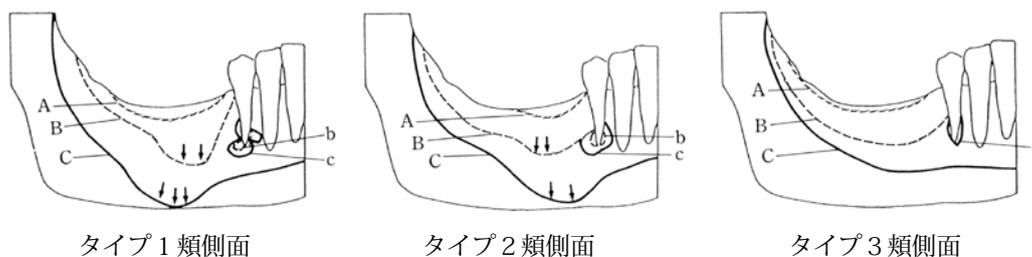


図6 モデル2の最大せん断応力分布図

fig. 6 Max. sheatstress distribution chart model 2 (arrow is concentration area)

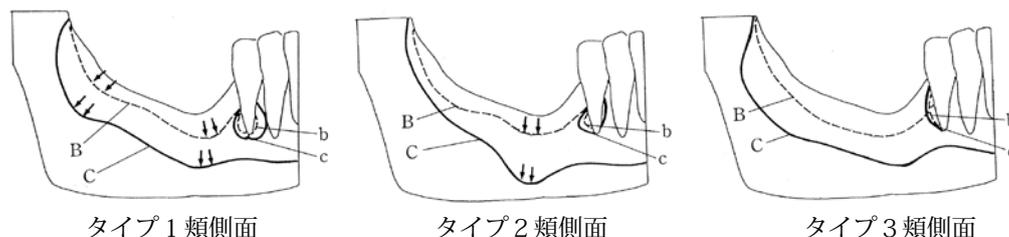


図7 モデル3の最大せん断応力分布図

fig. 7 Max. sheatstress distribution chart model 3 (arrow is concentration area)

び $\overline{6}$ に設置したタイプ2義歯で、欠損部顎堤で応力集中が認められ、さらに直接支台装置の支台歯槽骨には、タイプ1および2義歯で応力集中が認められた。また、咬合面からの観察では、タイプ1および2義歯の欠損部顎堤の頬側および舌側に応力集中が認められた。これは、後方の間接支台装置を $\overline{5}$ に設置したタイプ1義歯および $\overline{6}$ に設置したタイプ2義歯では、支台歯への負担が大きく、咬合圧の均等分散は得られ難いと推察された。

しかし、後方の間接支台装置を $\overline{7}$ に設置したタイプ3義歯では、欠損部顎堤および直接支台装置の支台歯槽骨で、応力集中が認められなかったことから、歯槽骨および顎骨で応力が均等に分散されたと考えられた。

モデル3では、その顎堤形態が垂直方向に吸収しているため、直接支台装置の近心レストを中心とした義歯の咬合面から顎堤への垂直方向の回転モーメントがモデル1に比べ大きくなる。さらに、モデル1に比べ、咬合力の負担域である欠損部顎堤の義歯床と接する面積が減少することから、義歯の安定性が悪化したものと考えられた。義歯の安定性を得るには、片側性遊離端義歯の欠損側と非欠損側の力の釣り合いを考慮する必要がある⁷⁾ 支持力および維持力を求める位置としては支点から可及的に遠い位置が良い⁷⁾とされていることから、タイプ3義歯の設計をすることによって、支台歯および顎堤に咬合力が均等に配分され、直接支台歯の応力が減少し、顎堤に沿った応力分布が得られ、義歯の安定性が増したと推察された。

$\overline{6}$ の顎堤吸収が大きいモデル4 (図8) では、モデル2および3とほぼ同様の傾向であったが、後方の間接支台装置を $\overline{7}$ に設置したタイプ3義歯でも、欠損

部顎堤と、直接支台装置の支台歯槽骨とに応力集中が認められ、また、咬合面からの観察では、欠損部顎堤の頬側および舌側で応力集中が認められた。これらのことから、後方の間接支台装置を $\overline{7}$ に設置したタイプ3義歯においても、モデル4のような顎堤形態の場合は、義歯の安定を得ることが難しいことが推察された。

以上のことから、片側性遊離端欠損症例に間接支台装置を設置する場合には、鉤間線を十分に考慮することが重要であるという考え方⁴¹⁾と一致する結果であった。本研究は、これまでの研究では行われていなかった2つの間接支台装置の設置部位を変化させることにより、モデル4以外の顎堤形態であれば、間接支台装置を非欠損側の第二大臼歯に設置する設計で義歯を調製すれば、その機能時の支台歯槽骨および欠損部顎堤で応力の分散が可能となり、咬合圧の分散が図れることが判明した。

V. 結 論

本研究は、間接支台装置の設置部位の相違が、直接支台装置が設置される支台歯槽骨と欠損部顎堤とに及ぼす力学的影響を、標準的顎堤形態 (モデル1) とその顎堤形態より吸収が大きい3種 (モデル2、3、4) の顎堤形態とについて、三次元光弾性実験による応力解析から検討し、以下の結論を得た。

1. モデル1は、間接支台装置の設置部位の相違で、支台歯槽骨および欠損部顎堤への応力集中がみられなかった。
2. モデル2は、間接支台装置を非欠損側の第二大臼歯に設置することにより、モデル1と同様に支台歯槽骨および欠損部顎堤への応力集中がみられ

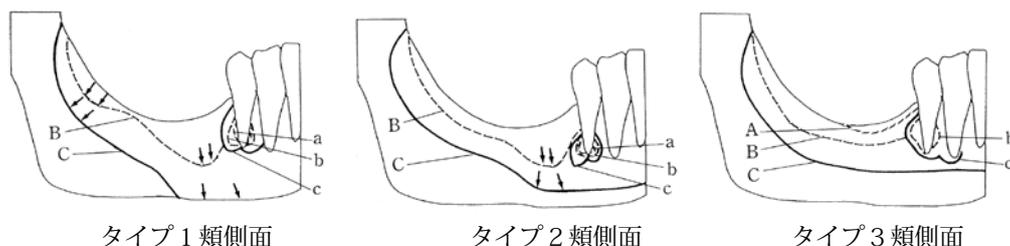


図8 モデル4の最大せん断応力分布図

fig. 8 Max. sheatstres distribution chart model 4 (arrow is concentration area)

なかった。

3. モデル3は、モデル2と同傾向であった。
4. モデル4は、間接支台装置の設置を非欠損側の第二大臼歯に行っても、支台歯歯槽骨と欠損部顎堤に応力集中がみられた。

参考文献

- 1) 松尾悦郎, 大木一三: 標準パーシャルデンチャー 第1版第2刷, 医学書院, 東京: 14-17, 1993.
- 2) 佐藤吉則, 永井栄一, 松津雅道, 豊間 均, 植田耕一郎, 岩内信雄, 松津里香, 宮田正則, 大輪正昭, 大木一三: 日本大学歯科病院における局部床義歯の実態調査, 日大歯学, 65: 1064-1069, 1991.
- 3) Henderson, D. & Steffen, V.L.: 橋本京一訳: マクラッケンパーシャルデンチャー 5版, 医歯薬出版, 東京: 299-322, 1990.
- 4) 松尾悦郎, 大木一三: 標準パーシャルデンチャー 第1版第2刷, 医学書院, 東京: 69-81, 1993.
- 5) 関根 弘: 咬合力負担からみた加工義歯の設計, 日本歯科評論, 303: 18-24, 1968.
- 6) 田口俊博: 遊離端義歯における増員・達結された支台歯の咬合圧による動きに関する実験的研究, 歯科学報, 76: 1613-1639, 1976.
- 7) 竹井正章: 有床義歯の設計および人工歯排列に関する維持力発現機構の研究, 歯科学報, 69(5): 721-751, 1969.
- 8) Matsumoto M., Goto T.: An experimental investigation in design and force distribution with unilateral mandibular distal extension removable partial denture: Bull. Tokyo Med. Dent. Univ., 17: 113-121, 1970.
- 9) 岡田京子: 局部床義歯の設計と支台歯歯周組織の咬合圧負担状態との関係についての実験的研究, 歯科学報, 71: 1712-1775, 1971.
- 10) Matsumoto M., Goto T., Tateishi T.: Evaluation of the residual ridge and denture design in relation to the lateral force distribution to abutment teeth: Bull. Tokyo Med. Dent. Univ., 19: 211-235, 1972.
- 11) Matsumoto M., Goto T., Tateishi T.: Lateral force distribution with relation to the residual ridge form and denture design in the unilateral mandibular extension saddle-type removable partial denture prosthesis: Bull. Tokyo Med. Dent. Univ., 19: 301-310, 1972.
- 12) 長久保文夫: 局部義歯の設計が支台歯歯周組織の咬合圧負担状態に及ぼす影響に関する三次元的Simulatorによる実験的研究, 歯科学報, 72: 1690-1723, 1972.
- 13) 健石照雄: 顎堤形態と部分床義歯の設計に関する研究—鈎歯(維持歯)の固定効果について—, 日補綴歯会誌, 20: 601-632, 1976.
- 14) 松元 誠: 遊離端義歯—咬合構成の臨床— 1版, 医歯薬出版, 東京: 120-150, 1977.
- 15) 野川哲義: 有限要素法による遊離端義歯の力学的研究—第2報—レストの設定位置と顎堤粘膜の被圧変位性の違いによる応力分布への影響, 日補綴歯会誌, 33: 1313-1327, 1989.
- 16) 松元 誠: 下顎大白歯および小白歯欠損後の下顎骨の形態学的変化Ⅰ: 口腔病会誌, 28: 271-290, 1962.
- 17) 松元 誠: 下顎大白歯および小白歯欠損後の下顎骨の形態学的変化Ⅱ: 口腔病会誌, 29: 242-254, 1963.
- 18) 松元 誠: 下顎大白歯および小白歯欠損後の下顎骨の形態学的変化Ⅲ: 口腔病会誌, 30: 30-51, 1964.
- 19) Kratochvil, F.J., 平沼謙二, 松元 誠訳: クラトビルパーシャルデンチャー 第1版第1刷, 医歯薬出版, 東京: 99-103, 1989.
- 20) 橋本京一: 補綴の診療計画とその診査: 補綴臨床別冊, 医歯薬出版, 東京: 267-272, 1979.
- 21) Elbrecht A.: Systematik der abnehmbaren partiellen Prothese; Johann Ambrosius Barth Munchen: 166-189, 1950.
- 22) 佐藤 裕: 下顎部分床義歯患者の顎堤変化に関する研究: 口腔病会誌, 36: 34-57, 1968.
- 23) 野村賢介: 片側性遊離端義歯の直接維持装置が荷重時に鈎歯および歯槽骨に与える影響—3次元光弾性実験による応力解析—: 日補綴歯会誌, 37: 1212-1222, 1993.
- 24) Blakeslee R.W., Renner R.P., Shiu A.: Dental Technology-Theory and practice; Mosby St.Louis: 274-304, 1980.
- 25) Pound E.: Esthetic denture and their phonetic values; J. Prosthet. Dent., 1: 98-111, 1950.
- 26) 辻 二郎, 西田正孝, 河田幸三: 光弾性実験法 第6版, 日刊工業新聞社, 東京: 283-335, 1974.
- 27) 森谷良彦: 総義歯の咬合力に関する研究補遺, 日補綴歯会誌, 11: 1-26, 1967.
- 28) 中尾正彦: 光弾性実験法 (n) 第1版, 理光研株式会社, 埼玉: 18, 1986.
- 29) 辻 二郎, 西田正孝, 河田幸三: 光弾性実験法 第6版, 日刊工業新聞社, 東京: 121-152, 1974.
- 30) Caputo A.A., Standlee J.P.: 伊藤秀美, 伊達和博訳: 歯科臨床とバイオメカニクス 第1版第1刷, クインテッセンス出版, 東京: 31-32, 1995.
- 31) 島倉晃一: 歯周組織の力学的性状に関する研究 (とくに歯根膜および歯槽骨について), 口腔病会誌, 30: 167-191, 1963.
- 32) 佐藤志貴: 口蓋粘膜のクリープ量と荷重量との関係, 日補綴歯会誌, 23: 103-125, 1979.
- 33) 松元 誠: Alternate Cast Methodについて, 歯科時報, 25: 4-5, 1971.
- 34) 松尾悦郎, 大木一三: 標準パーシャルデンチャー 第1版第2刷, 医学書院, 東京: 10, 1993.
- 35) 青木秀希, 丹羽滋郎: バイオセラミックスの開発と臨床 第1版第1刷, クインテッセンス出版, 東京: 14-15, 1987.
- 36) 島津 晃, 浅田莞爾: バイオメカニクスよりみた整形外科 第1版第1刷, 金原出版, 東京: 138-139, 1988.
- 37) Brodsky J.F., Caputo A.A., Furstman L.L.: Root tipping -A photoelastic histopathologic correlation-; Am. J.Orthod. 67: 1-10, 1975.
- 38) Levy J.A.A., Chaconas S.J., Caputo A.A.: Effects of orthodontic intermaxillary class III mechanics on craniofacial structures part I -Photoelastic analysis-; Angle. Orthodont., 49: 21-28, 1979.
- 39) Levy J.A.A., Chaconas S.J., Caputo A.A.: Effects of orthodontic intermaxillary class III mechanics on craniofacial

structures part I -Computerized cephalometrics - ; Angle.
Orthodont., 49 : 29-36, 1979.
40) 川田雄一, 町田輝史: 図解材料強さ学の学び方 第1版第

6刷, オーム社, 東京: 215-218, 1987.
41) 中沢 勇: 部分床義歯学 第3版第6刷, 永末書店, 京都:
108-109, 1973.

●抄録● 光弾性実験法による歯槽骨および顎堤の力学的研究
—遊離端義歯の間接支台装置設置部位の相違が及ぼす影響—
／内田 耕司

本研究は、下顎片側性遊離端義歯の間接支台装置の設置部位の相違が、直接支台装置が設置される支台歯槽骨と欠損部顎堤とに及ぼす力学的影響を、標準的顎堤形態（モデル1）とその顎堤形態より吸収が大きい3種（モデル2、3、4）の顎堤形態とについて、すなわちモデル2は、顎堤の高径がモデル1と同じで、その頬舌径が狭窄した顎堤形態のもの、モデル3は、第一大臼歯部の顎堤吸収が大きい顎堤形態のもの、モデル4は、第一、第二大臼歯部の顎堤吸収が大きい顎堤形態のものとしてそれぞれについて、三次元光弾性実験による応力解析から検討し、以下の結論を得た。

1. モデル1は、間接支台装置の設置部位の相違で、支台歯槽骨および欠損部顎堤への応力集中がみられなかった。
2. モデル2は、間接支台装置を非欠損側の第二大臼歯に設置することにより、モデル1と同様に支台歯槽骨および欠損部顎堤への応力集中がみられなかった。
3. モデル3は、モデル2と同傾向であった。
4. モデル4は、間接支台装置の設置を非欠損側の第二大臼歯に行っても、支台歯槽骨と欠損部顎堤に応力集中がみられた。

キーワード：局部床義歯、間接支台装置、歯槽骨、顎堤、応力解析

Photoelastic Analysis of Alveolar Bone and Residual Ridge —Indirect Retainer Position with Unilateral Distal Extension Partial Denture—

Nihon university Graduate School of Dentistry, Major in Removable Partial Denture Prosthodontics

Koji UCHIDA, F.I.C.D.

This study consisted of a stress analysis of alveolar bone using an abutment tooth with a direct retainer and a residual ridge with two indirect retainers on the nonedentulous side. Four models were prepared ; model 1 was used for the normal residual ridge form and models 2-4 for the residual ridge forms with bone resorption. These are divided into the four following types : Model 1, minimal loss of residual bone ; Model 2, bucco-lingually narrowed ; Model 3, excess bone loss in the first molar area ; Model 4, excessive loss of alveolar bone in the first and second molar area.

The conclusions were as follows :

- (1) In model 1, there was no concentration of stress in the alveolar bone around the abutment tooth and residual ridge with the installation of indirect retainers.
- (2) In model 2, there was no concentration of stress in the alveolar bone around the abutment tooth and residual ridge with the indirect retainer on the second molar of the non-edentulous side, the same as in model 1.
- (3) Model 3 produced the same results as model 2.
- (4) In model 4, there was concentration of stress in the alveolar bone around the abutment tooth and residual ridge in spite of the presence of the indirect retainer on the second molar of the nonedentulous side.

Key words : Removable Partial Denture, Indirect Retainer, Alveolar Bone, Residual Ridge, Stress Analysis