全部鑄造冠支台歯の各形態の力学的研究

第2報 各種の咬合面形態および辺縁形態における二次元光弾性実験

中 林 靖 夫

Dinamic Study on the Force Distribution of Various Forms of Full-cast Crown Abutment Teeth

Part 2. Two-dimensional Photoelastic Studies on Various Types of Occlusal Face and Marginal Form

Yasuo Nakabayashi

第1章 緒 言

全部鑄造冠は、帯環金属冠やその他の歯冠補綴物に比べ、強度、保持力および二次カリエス防止の点ですぐれていることが、周知の事実であり、今日、日常臨床に広く普及している。全部鑄造冠の合理的な形態およびその術式に関しては、多くの人々によつて研究、報告され¹⁻³⁷⁾、またこれに関連して歯科材料、器具の改良開発も進められた結果、多くの成果をもたらした。

しかし、わが国における全部鑄造冠の普及は欧米よりも著しく遅れており、現在においても帯環金属冠²³⁾を全面的に駆逐するまでには至っていない。

全部鑄造冠は、その歴史が古く、1907年に Taggart によつて鑄造理論が確立され、1917年 Harris¹⁾、1919年 Orton²⁾らによつて実用化されて以来、支台歯形成、印象採得、鑄造法等の一連の操作について詳細な研究がなされるとともに、材料や器具等の改良開発も進み、術式、精度および操作性等に著しい進歩がみられた。さらに近年、スクリューを有する種々のピンや、鑄造コア^{21,30)}の利用による築造技術の発達によつて、全部鑄造冠は歯冠部歯質の崩壊の著しい失活歯に対しても積極的に利用

されるようになってきた。

現在、全部鑄造冠は、単独歯のみならず、固定性および可撤性架橋義歯の支台装置としても広く用いられ、その応用範囲も前歯部³⁸⁾および臼歯部の全歯にわたっている。

したがって、その作製に当たり、その合理的な支台形態の追求はきわめて重要であつて、多くの研究がなされてきた。すなわち支台歯の合理的な形態については、解剖学的^{35,38)}、病理学的^{22,32,33,39-42)}、機械的および力学的立場等⁴³⁻⁵⁵⁾から追究されている。しかし一般的に広く用いられている支台歯形態では、その形成の基準が主として補綴物の強度、解剖学的形態、維持、保持力および着脱方向などの諸点に求められてきたようであるが、適応の多様化への対策およびより高度の技術開発のため、力学的立場からの合理性がさらに追究されなければならないと考えられる。したがって補綴物の設計に際し、その脱落、支台歯の破折ならびに歯周組織への障害等を予防するために、咬合や咀嚼等の外力が支台歯に及ぼす影響を知ることも重要である。このような観点から歯槽骨、インレー、ピン、金属冠、架橋義歯および鉤等に関して、光弾性実験による内部応力の研究⁵¹⁻⁷⁷⁾がなされている。特に、全部鑄造冠についてみると、El-Ebrashi ら⁵⁵⁾は種々のテーパ一度による支台歯内部応力の変化について、二次元光弾性実験によつて検討を加え、Colin⁵²⁾らは臨床に広く応用されている一形態について同様の光弾性実験を行い、Craig⁵⁴⁾は金属冠の内部応力を観察している。

日本大学歯学部補綴学教室（指導：中沢 靖教授）
Nihon University School of Dentistry, Department of
Prosthodontics (Director: Prof. Yasushi Nakazawa)
昭和50年1月28日受付

A 部形状ハ 1 ~ 4 マデ 4 種類

図 1 模型各部の寸法

さらにわが国においては、出井⁵¹⁾は異なる辺縁形態を有する金属冠の内部応力について報告している。しかし、合理的な支台歯形態の追究において、最も重要と考えられる軸面、咬合面および辺縁形態についての詳細な力学的な検討は、まだ行われていない。そこで著者は、二次元光弾性実験によって力学的に合理的な形態を得るため、特に上顎第 2 小臼歯をモデルとして、支台歯軸面、咬合面および辺縁形態と内部応力分布との関係について一連の実験を行い、各軸面形態が支台歯の内部応力に対する影響について、第 1 報⁵³⁾で報告した。

今回はさらに各種の咬合面および辺縁形態について検討し、これら一連の研究を総括して最も良好と思われる形態の臨床への応用について検討を加えたので報告する。

第 2 章 実験材料および方法

第 1 節 装置

実験装置としては、第 1 報⁵³⁾で報告したと同様に、理研計器製光弾性実験装置を用いた。

第 2 節 模型

実験模型は、歯質を均質体とみなし、厚さ 6 mm のエポキシ樹脂板を用いて、3 倍大のものを作製した。この模型は、第 1 報⁵³⁾で良好な結果を得た軸面傾斜角度 5° のものに、咬合面形態 (0°, 10°, 20°, 30° および 40°) および辺縁形態 (Knife edge, Chamfer edge, Bevel edge, Bevel・Shoulder edge および Shoulder edge) を付与した各 5 種 (2 群 10 種) である。さらに本実験後、軸面傾斜角 5°, 咬合面形態 30° のものに、臨床上よく

図 2 各種咬合面形態

A 部形状ハ 図 1 ~ 4 マデ 4 種類

図 1 SHOULDER

図 2 BEVEL-SHOULDER

図 3 BEVEL

図 4 CHAMFER

図 3 各種辺縁形態 (Knife は図 2 の 0° と同じ)

もちいられる Knife edge, Chamfer edge, Shoulder edge の 3 形態を付与した模型を作製した (図 1, 2, 3)。

各部の寸法は、図 1 に示す通りである。

なお模型の作製に当たって、各形態の決定は、Tylman²⁷⁾、石原⁸⁾等の成績を参考とし行つた。さらに解析を容易にするため、歯髓腔、および外形各部は左右対称とした。支台歯模型に装着する全部鑄造冠模型、支持台、歯根膜模型は、それぞれ第 1 報⁵³⁾と同様に行つた。

第 3 節 方法

全部鑄造冠模型と支台歯模型とを磷酸亜鉛セメントで合着後支持台に固定し、荷重量 101 kg を歯軸と一致する方向より模型中央部に静荷重し、等色線縞写真を撮影後、周辺応力分布図を作製し咬頭隅角部、歯頸辺縁部、根尖部および髓室角部 (第 1 報では髓角部と表現している) の各点について解析を行つた。

実験に先だち辻⁷⁸⁾の方法による光弾性定数の曲げ試験により主応力差を求めた。その結果 1. Fringe Order (以下 F.O. と略す) 当たり 1.33 kg/mm² を得た。

図 4 咬合面形態における等色線写真

表 1 各咬合面形態の各測定部位における最大縞次数

咬頭傾斜角 測定部位	0°	10°	20°	30°	40°
咬頭隅角部	2.0	1.0-1.5	2.0	2.0	2.0-2.5
歯頸辺縁部	4.0-4.5	3.0-3.5	2.5-3.0	2.0	2.0
根 尖 部	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5
髓 室 角 部	9.5	7.0-7.5	6.0	5.0	4.0

第 3 章 成 績

第 1 節 咬合面形態

咬頭傾斜角が 0°, 10°, 20°, 30° および 40° の各模型における等色線縞写真および周辺応力分布図は、図 4、図 5 に示すとおりである。さらに咬頭隅角部、歯頸辺縁部、根尖部および髓室角部における、それぞれの最大縞次数は表 1 に示すとおりである。

- ① 最大応力集中は髓室角部 (4.0~9.5 F.O.) に認められた。
- ② 著明な応力集中は、髓室角部および歯頸辺縁部に認められる。
- ③ 根尖部および咬頭隅角部は、いずれも 1.0~2.0

図 5 各咬合面形態における周辺応力分布図

の小さな F.O. を示した。

- ④ 咬頭傾斜角が増すと、髓室角部および歯頸辺縁部の F.O. はいずれも減少し、0° で最大値を、40° で最小値を示した。

- ⑤ 咬頭隅角部および根尖部は、いずれも 1.0~2.0 F.O. のほぼ同大の値を示し、咬頭傾斜角が大きくなってもほとんど変化しなかつた。

第 2 節 辺縁形態

辺縁形態が, Knife edge, Chamfer edge, Bevel edge, Bevel・shoulder edge および Shoulder edge である各模型における等色線縞写真および周辺応力分布図は、図 6、図 7 に示すとおりである。

また咬頭隅角部、歯頸辺縁部、根尖部および髓室角部における、それぞれの最大縞次数は表 2 のとおりである。

- ① 最大応力集中部は、髓室角部に認められた。
- ② 髓室角部、歯頸辺縁部に著明な応力集中が認められた。
- ③ 根尖部および咬頭隅角部に、いずれも 1.0~2.5 の小さな F.O. が認められた。
- ④ 髓室角部および歯頸辺縁部の応力集中は、Knife edge<Chamfer edge<Bevel edge<Bevel・shoulder edge の順であつた。最大値は Shoulder edge の 9.5 F.O. で、最小値は Knife edge の 5.5 F.O. であつた。
- ⑤ 咬頭隅角部および根尖部は各形態を通じてともに

図 6 各辺縁形態における等色線写真

図 7 各辺縁形態における周辺応力分布図

1.0~2.0 F.O. の小さな値を示した。

第3節

軸面傾斜角が5°、咬頭傾斜角が30°で、辺縁形態が Knife edge, Chamfer edge および Shoulder edge であ

図 8 3 模型における等色線写真

図 9 3 模型における周辺応力分布図

表 2 各辺縁形態の各測定部位における最大応力値

辺縁形態 測定部位	Knife	Chamfer	Bevel	Bevel-sho.	Shoulder
咬頭隅角部	1.5-2.0	2.0-2.5	2.0	1.0-2.0	1.0-1.5
歯頸辺縁部	3.5-4.0	4.5-5.0	6.0-6.5	6.0-6.5	7.5-8.0
根 尖 部	2.0-2.5	2.5	2.0	2.0	2.5
髓 室 角 部	5.5-6.5	6.0-6.5	6.5-7.0	7.5-8.0	9.0-9.5

る各模型における等色線写真および周辺応力分布図は、図 8、図 9 に示すとおりである。さらに咬頭隅角部、歯頸辺縁部および髓室角部における、それぞれの最大応力値は表 3 のとおりである。

① 最大応力集中は、髓室角部に認められた。

② 歯頸辺縁部、咬頭隅角部および根尖部は、Shoulder edge 模型を除き、2.0~3.0 F.O. の小さな値を示した。

表 3 軸面傾斜角 5° 咬頭傾斜角 30° に Knife, Chamfer, Shoulder を付与した 3 模型各測定部位における最大値次数

測定部位 \ 辺縁形態	Knife	Chamfer	Shoulder
咬頭隅角部	2.0	2.0	2.5~3.0
歯頸辺縁部	2.0	2.5~3.0	5.0
根 尖 部	2.0	2.0	2.0
髓 室 角 部	5.0	6.0	7.0

③ 髓室角部の応力集中は、Knife edge で最小で (5.0 F.O.), Chamfer edge (6.0 F.O.) がこれにつき、Shoulder edge で最大 (7.0 F.O.) であった。

第 4 章 考察および総括

第 1 節 実験成績について

1) 咬頭傾斜角

図 4, 図 5 および表 1 に示したとおり, 歯頸辺縁部および髓室角部に著しい応力集中が認められた。両部の応力集中は, 咬頭傾斜角が増大するに従い漸次減少している。髓室角部においては傾斜角が 0° では 9.5 F.O. を示し, 40° では 4.0 F.O. であった。歯頸辺縁部においては 0° で 4.0~4.5 F.O. で, 40° では 2.0 F.O. であつて, 髓室角部と同様に 1/2 以下に減少している。模型は, 咬頭傾斜角を増大すると, その歯冠長も増大し, 0° に比べて 40° ではほぼ 2 倍の長さを有し, さらに表面積も増大する。このことは, 本模型上部, すなわち門形ラーメン上部が厚くなり剛性が増したためと考えられる。これに反し, 咬頭隅角部および根尖部の応力集中は, いずれの模型においても小さな値 (1.0~2.0 F.O.) を示し, 咬頭傾斜角を変化させても, ほとんど変化しなかつた。

咬頭隅角部の角度は, 咬頭傾斜角を増大すると逆に減少して鋭くなり, 10° では 85°, 40° では 55° となつてゐる。咬頭隅角部が鋭くなると側方からの外力すなわち曲げ力が加わつた場合には, 大きな応力集中をきたすと考えられるが, 歯軸と一致する圧縮力に対しては, あまり大きな影響を示さなかつた。このことは, 特に今回咬頭隅角部が, 鋳造体模型によつて接合しているため, 大きな変化を受けなかつたものと考えられる。さらに, 根部では著しい応力分布が認められなかつたが, これは使用したシリコン膜が十分な緩衝作用を発揮し, 特定部位における応力集中を防いだためと考えられる。以上のように咬頭傾斜角は, 大きくなればなるほど支台歯は力

学的に良好となると考えられ, 特に, 髓室角部および歯頸辺縁部の応力緩和に効果があると考えられる。

2) 辺縁形態

図 6, 図 7 および表 2 に示したように, 髓室角部および歯頸辺縁部において著しい応力集中が認められた。すなわち髓室角部では Knife edge が最も小さく (5.5~6.5 F.O.) 次いで Chamfer edge, Bevel edge, Bevel · shoulder edge, Shoulder edge の順に大きくなる。最大値は, Shoulder edge の 9.0~9.5 F.O. であり, この値は Knife edge の約 33% 大である。歯頸辺縁部の応力集中は髓室角部と同様な傾向を示し, Knife edge が最も小さい (3.5~4.0 F.O.)。最大値は Shoulder edge の 7.5~8.0 F.O. である。

咬合面形態および軸面を一定にして, 辺縁形態を Knife edge, Chamfer edge, Bevel edge, Bevel · shoulder edge, Shoulder edge とにすると, 支台歯模型はその外形に変化を受け, Knife edge を付与する場合には, 他の形態を付与する場合に比べて, 削除量が少ない。しかし髓室角部は, 歯頸辺縁部において軸面に最も近くなるため, 歯頸部形態をどのように付与するかは, 髓室角部の応力集中に大きな影響をもつものと考えられる。このことは Knife edge と Chamfer edge, Knife edge と Bevel edge, Chamfer edge と Bevel edge および Bevel edge と Bevel · shoulder edge との間では, それぞれ髓室角部の応力集中がほぼ同大であり, 歯頸辺縁部では, Shoulder edge における応力集中は Knife edge および Chamfer edge よりも 50% 以上増大し, 7.5~8.0 F.O. を示していることから明らかである。したがつて, Shoulder edge か Bevel edge 等を付与する場合には, 髓室角の位置を考慮して設定することが必要である。

咬頭隅角部, 根尖部は, 咬頭傾斜角の比較において見られたと同様な傾向を示した。いずれも応力集中は小さく, 各辺縁形態による差は認められなかつた。これは, 前述と同様の理由によるものと考えられる。

以上のことから辺縁形態は Knife edge が力学的に最も良好であると考えられる。ついで Chamfer edge, Bevel edge, Bevel · shoulder edge, Shoulder edge の順である。特に Bevel edge, Bevel · shoulder edge, Shoulder edge は歯質の削除量も多く, 髓室角部の応力集中を増大させるとともに, 歯頸辺縁部の応力集中も増大させるものと考えられる。

3) 軸面傾斜角 (5°), 咬頭傾斜角 (30°) とを一定にし, それに Knife edge, Chamfer edge および Shoulder edge の 3 種の辺縁形態を付与した 3 模型における等色

線縮写真, 周辺応力分布図および各部の最大縮次数をみると (図 8, 図 9 および表 3), 応力集中の傾向は, いずれも前述の一連の模型実験と同様の結果であった。すなわち Knife edge 模型は, 咬頭傾斜角 30° の模型と同形であり, 髓室角部で 2.0 F.O., 齒頸辺縁部で 5.0 F.O. の応力集中が認められ, 3 模型中, 最も小さな値を示した。Chamfer edge 模型, および Shoulder edge 模型では, いずれも咬頭傾斜角 0° の場合よりも髓室角部および齒頸辺縁部の応力集中は小さな値を示した。Chamfer edge において髓室角部は 6.0 F.O. とわずかに減少したが, 齒頸辺縁部は 2.5~3.0 F.O. で, 0° のときより約 60% 減少した。この値は, Knife edge 模型のうち, 咬頭傾斜角 20° の場合とほぼ同程度である。Shoulder edge の模型においても, 同様の傾向を示し, 髓室角部の減少はわずかであるが, 齒頸辺縁部においては, 約 60% 減少した。Chamfer edge および Shoulder edge では, 咬頭傾斜角 30° を付与することにより, 髓室角部の応力集中は変化が少なく, 齒頸辺縁部では大であった。すなわち, 髓室角部と軸面との距離がその部分における応力集中に大きな影響を及ぼすものと考えられる。

今回のように単一方向の力に対し, Knife edge 以外の辺縁形態をとらざるを得ない場合, 咬頭傾斜角を十分考慮して, 咬合面形態を付与することは, 力学的な安定を得る上で重要と思われる。咬頭隅角部および根尖部においては, 前述の模型と同様の結果を得た。特に, 咬頭隅角部は, 各形態を付与する場合, それぞれ位置形態等が変化するが, この部分における応力集中は小さく, 形態の変化によって, ほとんど影響を受けなかった。

第 2 節 総 括

全部鑄造冠の支台歯形態の諸条件

1) 軸面形態

軸面形態の付与にあたり, まず軸面傾斜角をどの程度にすべきかが重要と考えられる。

すなわち, 軸面傾斜角は, 歯質の削去量, セメントの浮き上り, 適合性, 補綴物の維持, 保持力および力学的安定等に大きな影響をもっている。軸面傾斜角について, これら諸条件を考慮し, 石原⁸⁾は $2^\circ \sim 5^\circ$, Tylman²⁷⁾は やや平行, 保母^{19,37)}は 6° , 小森³⁰⁾は 8° , Wyman ら¹²⁾は ややテーパードとしている。すなわちできる限り平行が望ましいが, 臨床 $2^\circ \sim 8^\circ$ の範囲に付与することが推奨されている。支台歯形成において, 歯質の削除量は, 切削に伴う歯髄への有害作用や露髄に影響し, できる限り少ない方が望ましいと考えられる^{32,33)}。門平³⁵⁾は, 歯台歯形成における解剖学的条件による限界について, 小

臼歯の露髄軸面傾斜角 $15^\circ \sim 20^\circ$ を報告している。セメントの浮き上りについて, Jørgensen^{44,49)}は, 模型実験によって, 5° で 910μ , 10° で 340μ , 20° で 140μ であり軸面傾斜角が小さいとその浮き上り量は, 約 1 mm にも達している。しかしその反面, 流出孔の付与によつて, それぞれ 375μ , 200μ , 115μ と大幅に減少し, それに伴うセメント層の平均厚さは, 逆に, 5° で 16.5μ , 10° で 17.5μ , 20° で 20μ と増大したと報告している。保持および維持力について Kaufman ら⁴⁵⁾は, セメント装着前と装着後とを比較し, 関係がないと報告している。また, 軸面傾斜角が小さい程維持力が増し, かつ, 齒頸部側 $1/3$ が, 維持に重要であると報告している。Skinner⁷⁹⁾は, 維持力の主要素は, 支台歯面と鑄造体との間にセメントが介在した状態における嵌合力であり, 接着によるものではないとしている。したがって, セメントの強度を最も発揮させることが, 維持力を増強する上で望ましく, そのためにセメント層が薄く, 均一の厚さで, 唾液等により溶出し難いことが重要であると考えられる。また, 十分な維持および保持力を示すためには, 外力に対し支台歯が有効に抵抗し, とりわけ補綴物の離脱に対し, 考慮する必要がある。Lewis ら⁸⁰⁾は, 数学的解析により, 補綴物の齒頸部の剛性が重要なこと, さらに離脱に対し有効な支台歯形態は, 軸面と反対側齒頸部上の点とが, 軸面内で直交することが必要であると示唆している。以上まとめると歯質はできるだけ残し, セメント層を薄くし, かつ離脱抗力の十分な傾斜角が望ましいことになる。したがって従来応用されてきた $2^\circ \sim 8^\circ$ (本研究では 5° とした) に付与することは, 十分力学的立場からも合理的な形態であると考えられる。

2) 咬合面形態

咬合面形態をどのように付与すべきかについて, 詳細に検討した報告は少なく, 一般に補綴物に, 合理的な形態の付与が可能でかつ, 歯髄に対する影響も少なくするため, できる限り歯質の削除量を少なくする形態として, 解剖学的形態に形成することが推奨されている。削除量の具体的な値について, 石原⁸⁾および Tylman²⁷⁾は $1.5 \sim 2.0$ mm, 保母^{19,37)}, 小森³⁰⁾および桜井¹³⁾は $1.0 \sim 1.5$ mm としている。このほか, 門平³⁵⁾は 1.5 mm, 削除後の咬合面と歯髄腔との間の距離が $3.4 \sim 3.8$ mm となるので, ビン等の補助維持形態付与について考慮すべきであると示唆している。

以上のように削除量は, ほぼ $1.0 \sim 2.0$ mm であることが, 推奨されている。上記の値は, いずれも対合歯と協調性のある機能的形態を補綴物に付与するための可能

な基準量である。さらにこれらの値は、補綴物の強度によつても変化し、陶材を利用する場合は、さらに大量となり、金属冠の場合、やや少なくともよいと考えられる。今日、使用金属の多様化につれ、使用材料ごとに適切な歯質削除量について十分検討することが必要と思われる。

また、解剖学的形態に形成する時、どの程度の咬頭傾斜角を付与するかは、各歯により異なるが、尾花⁸¹⁾は、上顎第2小臼歯で約21°~36°であると報告している。力学的立場から、咬頭傾斜角は大きい程良好であるが、以上のことを考慮し、本研究では30°を付与した。

補綴物の適合を良好にするため、軸面と咬合面との移行部について、Tylman²⁷⁾は、丸味を帯びているのが最も良いと述べている。本研究においても、咬頭隅角部の応力集中は、咬頭傾斜角の変化によつてほとんど変化を示さなかった。したがって特に角状に接続する必要はないと考えられる。咬合面形態は、解剖学的、力学的立場から、ほぼ、歯冠外形に沿って削除し、解剖学的形態を付与することが望ましい。

3) 辺縁形態

辺縁形態について、石原⁸⁾および小森³⁶⁾らは Feather edge, Knife edge, Bevel edge, Bevel・shoulder edge および Shoulder edge の6種を、保母^{19,37)}は Chamfer edge, Heavy Chamfer with Beveled edge, Knife edge, Shoulder Bevel edge および Shoulder edge の5種をあげている。以上のように多種多様な形態が列記されているが、臨床で通常用いられているのは Knife edge, Chamfer edge, Shoulder edge の3種である。Tylman²⁷⁾は No-Shoulder edge, 保母^{19,37)}は Chamfer edge か Knife edge, Wyman¹²⁾および石原⁸⁾は Knife edge か Feather edge を用い、小森³⁶⁾は各辺縁形態について利点、欠点を述べているが、どれを選ぶかについては触れていない。したがって、臨床上是 Knife edge か Chamfer edge を推奨したい。支台歯形成において、辺縁形態をいずれにするかは、軸面傾斜角をどの程度に付与することが可能であるかということと関連がある。例えば歯冠長が短く、維持力が弱い場合には、Shoulder edge を付与することによつて、軸面傾斜角を平行に近づけ、維持力を増加することが必要である。また、陶材冠のように縁端強度が十分でない場合にも、Shoulder edge を利用する必要がある。鑄造冠においては十分な縁端強度が望めるため、Knife edge 等の形態付与が可能となり、さらに中間形態の Chamfer edge の利用も推奨されている。門平³⁵⁾は歯質の削除量が Knife edge, Chamfer edge,

Shoulder edge の順に増大し、特に Shoulder edge では歯冠部全体の51%に達したと報告している。Chamfer edge と Shoulder edge とは、軸面と辺縁基底部の移行状態が異なることを除けば、ほぼ同様の形態であり、軸面傾斜角付与の条件は同様である。Shoulder edge を付与すると軸面傾斜を小さくすることができるが適合が悪く、セメント合着時の浮き上り量も増大するため、維持力を弱めるばかりでなく、セメント溶解に伴い、2次カリエス発生の一因ともなり好ましくない。しかし、適度なセメント流出孔をもうけることにより、浮き上り量を小さくおさえることができる。各辺縁形態における応力集中については Knife edge が最も良好な結果を得たが、適度な咬頭傾斜角と軸面傾斜角を付与することにより、Chamfer edge においても力学的に良好な結果を得た。

以上の結果から、縁端強度の十分な金属冠においては、Knife edge, Chamfer edge いずれも良い。しかし陶材等、縁端強度が十分でない場合には、Shoulder edge の付与はやむをえないが、咬頭傾斜角および軸面傾斜角に、十分留意することが重要である。辺縁部の位置の設定は、従来多くの人々によつて論じられ、主として歯肉縁下におくことが推奨されているが^{8,24,25)}、十分な理論的根拠が与えられていない。したがって辺縁の位置等についても、今後力学的検討を加えることが重要であると考えられる。

第5章 結 論

全部鑄造冠の支台歯形態の最も重要な要素である軸面形態、咬合面形態および辺縁形態について、力学的立場からの総合的な研究は見当たらない。

そこで著者は、この3要素について一連の研究を2次元光弾性実験により追究した。すなわち先に報告した各種軸面形態の成績(第1報)と、本研究で行った咬頭傾斜角および辺縁形態の成績とを総合的に検討して次のような結論を得た。

1) 軸面傾斜角については、5°、10°、20°および30°の各模型について研究を行った。いずれの模型においても最大応力集中部は、髓室角部に認められた。この値は、軸面傾斜角が増大するに従つて、増加する傾向が認められた。このことにより、軸面傾斜角が小さいほど、力学的に良好であると考えられる。したがって、最も良好な軸面傾斜角は5°であった。

2) 咬頭傾斜角については、0°、10°、20°、30°および40°の模型について研究を行った。

応力集中は、髓室角部および歯頸辺縁部に認められ、これらに咬頭傾斜角が増大すると共に、減少が認められた。したがって、咬頭傾斜角は、大きくなるほど力学的に良好と考えられ、特に髓室角部および歯頸辺縁部の応力集中防止について効果があると考えられた。

3) 辺縁形態については、Knife edge, Chamfer edge, Bevel edge, Bevel・shoulder edge および Shoulder edge の模型について研究を行った。

髓室角部の応力集中は、Knife edge が最も小さく、Chamfer edge, Bevel edge, Bevel・shoulder edge, の順に増大する。したがって、Knife edge は力学的に最も良好であり、ついで Chamfer edge, Bevel edge, Bevel・shoulder edge, Shoulder edge の順である。

4) 軸面傾斜角 5°, 咬頭傾斜角 30° の模型に、Knife edge, Chamfer edge および Shoulder edge の辺縁形態を付与したものでは、Knife edge が最もすぐれており、ついで Chamfer edge および Shoulder edge の順であった。Shoulder edge においては、咬頭傾斜角を 30° にすると、歯頸辺縁部および髓室角部の応力は著しく低下するため、その応用にあつては十分このことを考慮すべきであると考えられる。

本研究の要旨は第 11 回日本歯科医学会総会日本補綴歯科学会 (1966 年 10 月 10 日)、第 54 回日本補綴歯科学会 (1967 年 10 月 8 日)、第 55 回日本補綴歯科学会 (1968 年 10 月 19 日)、日本大学歯学会総会 (1969 年 5 月 31 日) において逐次発表した。なお本研究は昭和 41 年度文部省科学研究費を受けた。

稿を終えるにあたり、本研究に際して終始ご懇篤なご指導およびご校閲の労をおとりくださった中沢靖教授、理工学的立場からご指導をいただいた日本大学理工学部長尾弘教授ならびに日頃ご指導およびご鞭撻をいただいた大木一三教授、日本大学松戸歯科大学水川一広助教授に深く感謝の意を表します。あわせてご援助いただいた補綴学教室諸先生ならびに補綴学専攻大学院学生各位に謝意を表します。

文 献

- 1) Harris, C.B.: Construction of the Gold Jacket Crown; Dent. Cosm., Vol. 59, 1228~1231, (1917).
- 2) Orton, F.H.: The General Improvement of Technic in Crown and Bridge Work; J. Amer. dent. Ass., Vol. 6, 91~112, (1919).
- 3) Lewis, W.T.: Principles of Cavity Preparation in Crown and Bridge Prosthesis; J. Amer. dent. Ass., Vol. 41, 284~289, (1950).
- 4) Edwin, S.S.: Dental Engineering Applied to Inlay and Fixed Bridge Fabrication; J. Pros. Dent., Vol. 2, 536~542, (1952).
- 5) Lawrence, H.C.: Modern Techniques for the Full Crown and Plasticfaced Gold Veneer Crown Preparations Using Diamond Instruments; J. Pros. Dent., Vol. 2, 260~276, (1952).
- 6) Russell, C.W.: The Implications of Full Coverage Restorative Procedure; J. Pros. Dent., Vol. 5, 848~851, (1955).
- 7) Alexander, L.: New Concepts in the Preparation of Teeth for Full Coverage; J. Pros. Dent., Vol. 5, 392~400, (1955).
- 8) 石原寿郎: 鋳造冠; 初版, 東京, 而至化学工業; 13, (1959).
- 9) Russell, C.W.: Complete Crown Form and the Periodontium; J. Pros. Dent., Vol. 11, 722~734, (1961).
- 10) Franklin, I.M. and Elliot, F.: Full Coverage Restorations; J. Pros. Dent., Vol. 12, 317~325, (1962).
- 11) Melvin, L.M.: Artificial Crown Contours and Gingival Health; J. Pros. Dent., Vol. 12, 1146~1156, (1962).
- 12) Wyman, H.W. and Lang, R.L.: Practical Crown and Bridge Prosthodontics; 1st Ed., McGraw-Hill book Co., Toronto, New York and London, 116, (1962).
- 13) 桜井 勉: One Piece Cast Bridge; 初版, 而至化学工業, 東京, (1969).
- 14) Martin, H.B.: Adjustment-Free Full Coverage Cast Restorations; Dent. Dig., Vol. 71, 10~15, (1965).
- 15) Green, H.D.: A Rational Approach to Full Crown Preparation; J. Pros. Dent., Vol. 15, 100~105, (1965).
- 16) Von Walfer, H.A.: Therapie und Technik, Zur Frage der Kronen und Brückentechnik; Zahnärztl. Rundsch., Vol. 74, 296~300, (1965).
- 17) Jules, S.M.: Simplified Full Coverage Preparations; Dent. Clin. N. Amer., 355~372, (1965).
- 18) James, D.H.: Crown and Bridge Preparation, Design, and Use; Dent. Clin. N. Amer., 185~193, (1966).
- 19) 保母須弥也: オーラルリハビリテーション; 初版, 医歯薬出版, 東京, 339, (1968).
- 20) Von Kraft, E.: Die Gestaltung des Kronenrandes; Dtsch. zahnärztl. Zschr., Vol. 24, 750~757, (1969).

- 21) Myers, G.E. : Textbook of Crown and Bridge Prosthodontics ; Mosby Co., Saint Louis, 68, (1969).
- 22) 荒木啓之 : 歯肉に対する全部鋳造冠の影響に関する実験的研究 ; 補綴誌 Vol. 12~13, 44~70, (1968~69).
- 23) 小畑蕃, 末次恒夫 : 無縫冠とその反論 ; 日歯評論, No. 315, 22~43, (1969).
- 24) 津留宏道, 長沢享 : 全部鋳造冠に関する最近の理論と実際 ; 広島大歯会誌 ; Vol. 1, 81~92, (1969).
- 25) 津留宏道 : 歯冠修復, 特にフルキャストクラウンについて ; 日歯評論, Vol. 318, 422~429, (1969).
- 26) Stamoulis, S. : Cadmium Bands in Construction of Full Cast Crowns ; J. Pros. Dent., Vol. 23, 315~319, (1970).
- 27) Tylman, S.D. : Theory and Practice of Crown and Fixed Partial Prosthodontics (Bridge) ; 6th Ed., Mosby Co., Saint Louis, 466, (1970).
- 28) Burch, J.G. : Ten Rules for Developing Crown Contours in Restorations ; Dent. Clin. N. Amer., Vol. 15, 611~618, (1971).
- 29) Morton, L.P. : Axial Crown Contours ; J. Pros. Dent., Vol. 25, 642~649, (1971).
- 30) Christensen, G.J. : Clinical and Research Advancements in Cast-Gold Restorations ; J. Pros. Dent., Vol. 25, 62~68, (1971).
- 31) Von Jung, T. und Quast, U. : Das Gussgefuge am Kronenrand ; Dtsch. zahnärztl. Zschr., Vol. 26, 785~792, (1971).
- 32) 長谷川正康 : 歯内療法から見た支台歯形成—歯質の被害と歯髄反応について— ; 補綴臨床, Vol. 4, 59~70, (1971).
- 33) 長谷川正康 : 歯内療法から見た支台歯形成 (続)—歯髄の保護について— ; 補綴臨床, Vol. 4, 251~263, (1971).
- 34) Lustig, L.P., Perlitsch, J., Przetak, C. and Mucko, K. : Ein Rationelles System der Kronenpräparation ; Die Quintessenz, 57~65, (1972).
- 35) 門平忠一郎 : 臼歯全部鋳造冠の支台歯形態と歯髄腔との関係, 歯学報, Vol. 72, 138~188, (1972).
- 36) 小森富夫 : クラウンブリッジの臨床 ; (多和田泰一, 松本洋一, 羽賀通夫, 小森富夫, 中沢靖編), 初版, 医歯薬出版, 東京, 25, (1972).
- 37) Shillenburg, H.T., 保母須弥也, Fisher, D.W. : キャストゴールドプレパレーション ; 初版, 医歯薬出版, 東京, (1972).
- 38) 海洲肇一 : 上顎前歯に対する歯冠補綴法の適応性に関する研究 ; 歯学報, Vol. 69, 147~184, (1969).
- 39) Lefkowitz, W., Robinson, H.B.G. and Postle, H.H. : Pulp Response to Cavity Preparation ; J. Pros. Dent., Vol. 8, 315~324, (1958).
- 40) Langeland, Kaare and Langeland L.K. : Pulp Reactions to Crown Preparation, Impression, Temporary Crown Fixation, and Permanent Cementation ; J. Pros. Dent., Vol. 15, 129~142, (1965).
- 41) Alonso, H.M. Dávila, Hutsen, G. and Johnston, J.F. : Changes in Pulp and Periodontal Tissues of Teeth Subjected to Crown Prosthesis ; J. Pros. Dent., Vol. 10, 350~361, (1960).
- 42) Richter, William A. and Ueno, H. : Relationship of Crown Margin Placement to Gingival Inflammation ; J. Pros. Dent., Vol. 30, 156~161, (1973).
- 43) Gerson, I. : Cementation of Fixed Restorations ; J. Pros. Dent., Vol. 7, 123~125, (1957).
- 44) Jorgensen, K.D. : Factors Affecting the Film Thickness of Zinc Phosphate Cements ; Acta odontol. scand., Vol. 479~489, (1960).
- 45) Kaufman, E.G., Coelho, D.H. and Colin, L. : Factors Influencing the Retention of Cemented Gold Castings ; J. Pros. Dent., Vol. 11, 487~502, (1961).
- 46) Fusayama, T., Ide, K. and Hosoda, H. : Relief of Resistance of Cement of Full Cast Crowns ; J. Pros. Dent., Vol. 14, 95~106, (1964).
- 47) Kaufman, E.G., Colin, L., Xchlagel, E. and Coelho, D.H. : Factors Influencing the Retention of Cemented Gold Castings : The Cementing Medium ; J. Pros. Dent., Vol. 16, 731~739, (1966).
- 48) Kaufman, E.G. : The Retention of Crowns Before and After Cementation ; N.Y. State dent. J., Vol. 25, 6~7, (1967).
- 49) Jorgensen, K.D. and Esbensen, A.L. : The Relationship Between the Film Thickness of Zinc Phosphate Cement and the Retention of Veneer Crowns ; Acta odontol. Scand., Vol. 26, (1968).
- 50) Smith, B.G.N. : The Effect of the Surface Toughness of Prepared Dentin on the Retention of Castings ; J. Pros. Dent., Vol. 23, 187~198, (1970).
- 51) 出井義教 : 歯冠補綴物支台歯の力学的考察 (第1報) 歯冠補綴物支台歯の光弾性実験 ; 歯学報, Vol. 54, 411~420, (1959).
- 52) Colin, S., Kaufman, E.G. and Paperno, R. : Stress Concentrations in Full Crown Restorations ; N.Y. State dent. J., Col. 29, 370~373, (1963).
- 53) 中林靖夫 : 全部鋳造冠支台歯の各形態の力学的研究 ; 補綴誌, Vol. 11, 88~93, (1967).
- 54) Craig, R.G., El-Ebrashi, M.K. and Peyton, F.A. : Experimental Stress Analysis of Dental Restoration, Part 2. Two-Dimensional Photoelastic Stress

- Analysis of Crowns ; J. Pros. Dent., Vol. 17, 292 ~ 302, (1967).
- 55) El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G. and Peyton, F.A. : Experimental Stress Analysis of Dental Restorations, Part 4. The Concept of parallelism of Axial Walls ; J. Pros. Dent., Vol. 22, 346 ~ 353, (1969).
 - 56) 水川一広 : 鉤歯, その槽窩骨および床支持歯槽骨にあらわれる咬合荷重の三次元的光弾性研究 ; 補綴誌, Vol. 9, 183 ~ 202, (1962).
 - 57) Von Rumetsch, W., Schreiber, S. und Motsch, A. : Zur Statik der Jacketkrone : Spannungsoptische Modellversuche ; Schweiz. Mschr. Zahnhlk., Vol. 75, 953 ~ 975, (1965).
 - 58) Lehman, M.L. and Meyer, M.L. : Relationship of Dental Caries and Stress : Concentrations in Teeth as Revealed by Photoelastic Tests ; J. dent. Res., Vol. 45, 1706 ~ 1714, (1966).
 - 59) Robert, G.C., El-Ebrashi, M.K., LePeak, P.J. and Peyton, F.A. : Experimental Stress Analysis of Dental Restorations, Part 1. Twodimensional Photoelastic Stress of Inlays ; J. Pros. Dent., Vol. 17, 277 ~ 291, (1967).
 - 60) Von Schreiber, S. und Motsch, A. : Kritische Untersuchungen der Klassischen Kavitätenpräparationsregeln mit Hilfe Spannungsoptischer Verfahren ; Dtsch. Zahnärztl. Zschr., Vol. 23, 171 ~ 178, (1968).
 - 61) Von Jourdant, R., Jung, T. und Primus, I.F. : Spannungsoptische Untersuchungen an Brückenmodellen ; Dtsch. zahnärztl. Zschr., Vol. 23, 1482 ~ 1487, (1968).
 - 62) Von Motsch, A. und Gauss, O. : Spannungsoptische Untersuchungen über Frontzahnbrückenanker ; Dtsch. zahnärztl. Zschr., Vol. 9, 797 ~ 802, (1969).
 - 63) Levy, A., Ficker, E. und Egli, A.R. : Dreidimensionale Spannungsoptische Untersuchungen an Jacketkronen im Modellversuch ; Schweiz. Mschr. Zahnhlk., Vol. 79, 943 ~ 981, (1969).
 - 64) El-Ebrashim M.K., Craig, R.G. and Peyton, F.A. : Experimental Stress Analysis of Dental Restorations, Part 3. The Concept of the Geometry of Proximal Margins ; J. Pros. Dent., Vol. 22, 333 ~ 345, (1969).
 - 65) El-Ebrashim M.K., Craig, R.G. and Peyton, F.A. : Experimental Stress Analysis of Dental Restorations, Part 5. The Concept of Occlusal Reduction and Pins ; J. Pros. Dent., Vol. 22, 565 ~ 577, (1969).
 - 66) El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G. and Peyton, F.A. : Experimental Stress Analysis of Dental Restorations, Part 7. Structural Design and Stress Analysis of Fixed Partial Dentures ; J. Pros. Dent., Vol. 177 ~ 186, (1970).
 - 67) 近藤英直 : ポーセレン・ジャケット・クラウンの三次元光弾性実験による力学的研究 ; 歯学, Vol. 58, 669 ~ 709, (1970).
 - 68) 大竹博明 : 陶材ジャケット・クラウンの支台形態による力学的研究, 歯学, Vol. 57, 687 ~ 709, (1970).
 - 69) 覚道幸男 : 補綴物のひずみ (その4) —ブリッジのひずみの基礎ならびに臨床歯科学への応用— ; 補綴臨床, Vol. 3, 357 ~ 364, (1970).
 - 70) Tillitson, E.W., Craig, R.G., Farah, J.S. and Peyton, F.A. : Experimental Stress Analysis of Dental Restorations, Part 8. Surface Strains on Gold and Chromium Fixed Partial Dentures ; J. Pros. Dent., Vol. 24, 174 ~ 180, (1970).
 - 71) Von Schreiber, S., Motsch, A. und Gröneward, J. : Statik des Alveolarfortsatzes, Modellexperimentelle Untersuchungen mit Hilfe der Spannungsoptik ; Dtsch. zahnärztl. Zschr., Vol. 25, 36 ~ 47, (1970).
 - 72) Nally, Jean N., Farah, J.W. and Craig, R.G. : Experimental Stress Analysis of Dental Restorations, Part 9. Two-dimensional Photoelastic Stress Analysis of Porcelain Bonded to Gold Crowns ; J. Pros. Dent., Vol. 25, 307 ~ 316, (1971).
 - 73) 工藤忠男 : 前歯部架橋義歯に応用される架工歯の力学的研究, (1) ロングピン陶歯の三次元光弾性実験 ; 補綴誌, Vol. 15, 304 ~ 315, (1971).
 - 74) 榎木 滋 : 小臼歯におけるポーセレン・ジャケット・クラウンの三次元光弾性実験による力学的研究 ; 歯学, Vol. 60, 576 ~ 605, (1972).
 - 75) 村岡清孝 : 継続歯の力学的研究, (その3) 各種根面形態における三次元光弾性実験 ; 補綴誌, Vol. 17, 45 ~ 63, (1973).
 - 76) Trabert, K.C., Caputo, A.A., Collard, E.W. and Standlee, J.P. : Stress Transfer to the Dental Pulp by Retentive Pins ; J. prosth. Dent., Vol. 30, 808 ~ 815, (1973).
 - 77) 小池国晃 : Pin-Restoration の光弾性力学的研究, 第3報, 模型板の外側辺縁から Pin までの距離の影響 ; 補綴誌, Vol. 17, 50 ~ 71, (1974).
 - 78) 辻 二郎, 西田正孝, 河田幸三 : 初版, 光弾性実験法 ; 日刊工業新聞, 東京, 337, (1965).
 - 79) Skinner, E.W. and Phillips, R.W. : The Science

- of Dental Materials ; 6th Ed., W.B. Saunders, Philadelphia and London, (1967).
- 80) Lewis, R.M. and Owen, M.M. : A Mathematical Solution of a Problem in Full Crown Construction ; J. Amer. dent. Ass., Vol. 59, 943~947, (1959).
- 81) 尾花甚一 : 歯牙咬合小面の傾斜角度について ; 口腔病会誌, Vol. 24, 40~59, (1957).

Dynamic Study on the Force Distribution of Various Forms of Full-Cast Crown Abutment Teeth

Part 2. Two-Dimensional Photoelastic Studies on Various types of Occlusal Faces and Marginal Form

Yasuo Nakabayashi

Nihon University School of Dentistry, Department of Prosthodontics

(Director : Prof. Yasushi Nakazawa)

There are many studies on the full cast crown, but the all-out dynamic studies for axial, occlusal and marginal form, that is very important factors, have not been found. The author tries to analyze the dynamic effect of differences of full cast crown abutment on the abutment, then the two-dimensional photoelastic studies are carried out. The maxillary bicuspid for specimens is bucco-lingual symmetrical form, and the specimens being enlarged the three times of this teeth, are made by the B-hardner # 901. The photoelastic apparatus, product of the Riken-keiki Co., is used for this study. The load direction is arranged at the long axis of specimen, the monochromatic fringe photographs are taken and analyzed.

The abutment forms of full cast crown consist of three factors, that is the axial angle (5, 10, 20 and 30 degrees), the cusp angle (0, 10, 20, 30 and 40 degrees) and the marginal form (knife edge type, chamfer edge type, bevel edge type, bevel-shoulder edge type and shoulder edge type), and are carried out to analyze by the two-dimensional photoelastic test. Furthermore, the specimens with the axial angle of 5 degrees the cusp angle of 30 degrees are prepared of three marginal forms (knife edge type, chamfer edge type and shoulder edge type) and they are analyzed. The dynamic effects of differences of abutment forms on the abutment are investigated and the following conclusions are obtained.

1. Regarding the axial angles, the each specimen with 5, 10, 20 and 30 degrees is researched. The maximum stress concentration in each specimen is observed at the pulp horn. Its value is tend to increase according as the axial angle increases. Therefore, it is concluded that the less the axial angle is, the more the abutment is dynamically. Consequently, the best axial angle is 5 degrees.

2. As regards the cusp angle, the each specimen with 0, 10, 20, 30 and 40 degrees is studied. The stress concentration is observed at the pulp horn and margin. It is found that the more the cusp angle increases, the less its values are. Then, the cusp angle is best according as it increases, especially, it is effect as to decrease the stress concentration at the pulp horn and margin.

3. As for the marginal forms, the specimens with knife edge type, chamfer edge type, bevel edge type, bevel-shoulder edge type and shoulder edge type are investigated. Regarding the stress concentration at the pulp horn, the knife edge type is minimum, and the chamfer edge type, bevel edge type, bevel-shoulder edge type and shoulder edge type are increased in order of magnitude. Consequently, the knife edge type is best, the chamfer edge type, bevel edge type, bevel-shoulder edge type and shoulder edge type are in order of magnitude.

4. As regards the specimen with the axial angle of 5 degrees and the cusp angle of 30 degrees being prepared for the marginal forms of knife edge type, chamfer edge type and shoulder edge type, the knife edge type is best. The chamfer edge type and shoulder edge type is in order of stability. In case of the shoulder edge type with the cusp angle of 30 degrees, the stress of margin and pulp horn is remarkably decreased. As to use of this type, this is careful consideration.