博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏　　名　伊藤　圭一
学　　位　博　士（歯学）
学位記番号　新大院博（歯）第495号
学位授与の日付　令和3年9月21日
学位授与の要件　学位規則第4条第1項該当
博士論文名　万能試験機を用いた歯科用石こうの硬化膨張圧の検討

論文審査委員　主査　小野　高裕　教　授
　　副査　魚島　勝美　教　授
　　副査　泉　健次　教　授

博士論文の要旨

【目　的】

歯科用石こうは模型材や鋳造用埋没材に利用され，現在の歯科医療においては不可欠な材料である．

一般に歯科補綴物の製作は，作業用模型の製作工程が出発点となるので，歯科補綴物の最終形状や寸法精度は，製作工程の初期段階から石こうの膨張特性が大きく影響することになる．そのため，作業内容や製作する装置に適する石こうや石こう含有材料を選択することが重要である．一般に参照可能なデータは硬化膨張率であるが，硬化膨張率の影響を受ける硬化膨張圧も重要な因子と考える．しかし，石こうの硬化膨張圧に関する先行研究は乏しく，測定法自体も硬化膨張圧を間接的に推定したもの以外はない．

そこで本研究では，先行研究で検討された鋳造用埋没材に対して行った膨張力測定法を参考にして，万能試験機を用いた測定法により，歯科用αおよびβ半水石こうの硬化膨張圧発現の様相，ならびに混水比（W/P），水温，練和時間およびα半水石こうの種類が最大硬化膨張圧に及ぼす影響について検討した．

【方　法】

万能試験機の下方圧盤に金属製リングを置き，減圧下で練和した試験条件毎の石こう泥が上方圧盤に確実に接触させるためリング上端面より若干高くなるよう注入した．次に石こう泥が上方圧盤に接するように上下圧盤間の距離を調整し，かつ，石こう泥と上方圧盤の接触面が金属製リング内径よりも直径の大きな円状になるよう，また，上方圧盤と金属製リングが接触しないように調節して硬化膨張力を測定した．

測定した硬化膨張力は，金属製リング内側の断面積で除して，硬化膨張圧に換算した．試験条件ごとに平均値と標準偏差(SD)を求めた．条件間の比較は，一元配置分散分析により有意性を確認したのち，多重比較には Tukey 法を用い，有意水準は 5%とした．

【結　果】

硬化膨張圧－時間曲線はαおよびβ半水石こうともに，階段状の圧力変化が見られる場合があった．

α半水石こうの最大硬化膨張圧に対する諸因子の影響として，W/P；0.25，0.3，0.35，0.4 の試験条件において 0.3 と 0.35 の組合せ以外で有意差が認められ，混水比が小さいほど平均最大硬化膨張圧は高くなった．また，水温および練和時間を変化させても平均最大硬化膨張圧への影響は見られなかった．α半水石こうの種類の影響については，硬化膨張抑制の調整剤を含有したシュールストーン（SS）とプラストーン L（PL）の平均最大硬化膨張圧は，調剤剤を含有しないプラストーン（PS）の

平均最大硬化膨張圧と比べて低くなった.

β半水石こうの最大硬化膨張圧に対する諸因子の影響として， W/P；0.4，0.5，0.6 の試験条件において，すべての組合せで有意差が認められ，混水比が小さいほど平均最大硬化膨張圧は高くなった．また，水温および練和時間を変化させても平均最大硬化膨張圧への影響は見られなかった.

【考　察】

αおよびβ半水石こうともに，硬化膨張圧－時間曲線の中に階段状の圧力上昇が現れたのは，練和条件によっては，針状結晶の成長による膨張力の均衡が部分的にくずれたためと考えられる．一方，階段状の圧力降下が現れたのは，単位体積あたりの針状結晶が少ない状態において結晶の絡み合いが弱い部分が瞬間的に滑るかあるいは破折したことによって階段状の圧力降下が現れたと考えられる.

最大硬化膨張圧に対する諸因子の影響として，W/P を変化させた場合，αおよびβ半水石こうともに混水比が小さくなるほど平均最大硬化膨張圧は高くなった．これは，混水比が小さいほど単位体積あたりの二水石こう針状結晶が多くなるためと考えられる．また，水温および練和時間の影響は，αおよびβ半水石こうともに，平均最大硬化膨張圧への影響は見られなかった．これは水温および練和時間を変化させても，単位体積あたりの針状結晶量に影響を及ぼさないためと考えられる．α半水石こうの種類の影響において， SS と PL の最大硬化膨張圧が PS と比較して低くなったのは，SS と PL には硬化膨張率を小さくするための調整剤が添加されており，PS には調整剤は添加されていないためと考えられる.

【結　論】

(1) α及びβ半水石こうともに，硬化膨張圧発現の一般的様相として，練和開始からしばらく変化がなく，収縮圧が発現してから膨張方向に転じて硬化膨張圧が増大し，最大硬化膨張圧を示すプラトーに至った.

(2) α及びβ半水石こうともに，硬化膨張過程において微小な圧力変化が階段状に上昇あるいは降下する現象を見いだした.

(3) α及びβ半水石こうともに，平均最大硬化膨張圧は混水比が大きくなるほど有意に低くなったが，水温および練和時間に有意差は見られなかった.

(4) α半水石こうの種類は平均最大硬化膨張圧へ有意に影響していた.

本測定法により，半水石こうの硬化膨張圧を直接的かつ連続的に測定することができることが明らかとなり，水和反応に伴う硬化現象の研究手法として，新規の有力な方法となることが示唆された.

審査結果の要旨

石こうは、歯科材料としてデンタルラボで用いられてきたもっとも古い材料のひとつであり、その物性研究の多くが2000年より以前、約半世紀近く前の報告がほとんどで、近年、研究の対象として扱われることはまれとなっているのが現状である。反面、現在のデンタルラボにおいて石こう自体は歯科技工にとって欠かせない材料であることに疑いの余地はない。過去の多くの研究報告で石こうの物性について調べつくされたか、という問いについて、必ずしもそうであるとは言い切れない。実際、近年の物性解析方法の進歩により、以前に解析できなかった物性の解析が可能であったら、全く新しい物性パラメータの解析が可能となっている事例は多々存在する。現在、デンタルラボの現場で使用されている石こうは数が限定されていることから、新たな石こうに関する物性解析はむしろ、単純に比較解析ができる状態になってきた、とも言える。現在においても使用頻度の高い石こうの取り扱い方法につながる物性研究にいま一度目を向け、アプローチ方法を変えてその基本的性質を見直すという、本研究の視点は、歯科技工、歯科医療の発展に陰ながら寄与することが考えられ、大学院の研究として価値を見出すことができ、石こうの硬化過程の新たな理解につながる可能性を秘めた有意義な研究である。

とはいうものの、いずれは、臨床的に石こう模型を必要としないデジタルデンティストリーが主流になっていき、歯科技工の中心的役割を果たしていくことは容易に想像できる。つまり、CAD /CAM技術の高度化や新材料の開発が進み、歯科技工操作の多くの部分がコンピュータ化され、自由診療とCAD/CAM冠に代表される一部保険診療で脱石こう模型の流れが進むであろう。そんな中で、本研究の逆説的な意義として、以下のことが考えられる。歯科技工士が単純な全部被覆冠や部分被覆冠の製作のような定型的な業務から解放され、その役割は複雑な歯科技工装置の製作など、高度な作業内容に特化されていくことが予想される。作業内容が高度化すれば、各工程のチェックとエラーの改善は難

しくなる。そのため作業用模型を介さずに製作するインプラント技工においてもインプラント体の位置確認用として、石こうによるインデックス模型の必要性は高まるはずである。このような逆説的な観点から実施された本研究は、他の歯科理工学の研究者に目新しいアプローチ法として大いに参考となり、多方面の研究に貢献できると考えられ、本研究のユニークさを際立たせている。

また、有床義歯分野に関しては歯冠修復治療に比べて軟組織に対するアプローチの難しさ等からデジタル化が歯冠修復分野ほど進んでおらず、石こう模型は継続して使用されると考えられる。金合金などの貴金属合金の場合、ブロックから削り出す方法やレーザー焼結法ではコストがかかりすぎるため、従来の鋳造法、石こう模型や石こう系埋没材が引き続き使用されることが予想され、今後も石こうは継続して使用される材料であることは間違いないとの信念から、石こうの硬化膨張特性である硬化膨張圧を検討することは臨床的に有意義であると考え実験に着手していることも本研究はその科学的価値の高さを有している

本研究は大野らの歯科用埋没材の硬化膨張力に関する研究方法を参考にして、その実験方法を石こうに応用したものであるが、本研究において特筆すべき点は、大野が利用したインストロン型万能試験機の特徴により石こうの硬化膨張圧測定が直接行えたことにより測定結果の正確性が得られたとともに、自動測定システムであるため、試験開始後は放置してもよいことから測定作業が簡便になるという点から、石こうの硬化膨張圧測定に万能試験機を選択したことであると言える。

また、本研究で測定対象とした石こうの硬化膨張は、口腔内の咬頭嵌合位と作業用模型の咬頭嵌合位に差異を生じ、使用する石こうの膨張特性が歯科技工作業の精度に影響を及ぼすことがあるため、歯科補綴物の最終的な形状や寸法精度に関しては製作工程における初期段階の模型製作や咬合器装着に関わる石こうが有する膨張特性の影響が大きい。石こうが硬化膨張する際には何らかの拘束力が働いていることが多いため、硬化膨張率だけでなく、石こうの硬化膨張圧の大きさや硬化膨張圧に影響を及ぼす因子についての情報も有意義であると考えていたが、従来の測定法では測定し得ないパラメータであったので、このハードルを越えるために、本研究で万能試験機の使用を試みた。この方法論の確立は特筆すべきであり、大きな意義があるものと認められる。

歯科理工学は基礎歯学の中でも歯科臨床により近い、橋渡し的な意味合いの強い分野で、臨床実地との連関が強いことから常に歯科臨床への貢献度を考慮しなければならない。その点本研究では、例えば咬合器装着について、咬合器装着用石こうの硬化膨張を抑制して切歯指導釘が切歯指導板から浮き上がらないようにしなければ、その後の技工操作に支障をきたすため、石こうの硬化膨張率を小さくするという観点のみからすると混水比は大きく、水温は高く、練和時間は短くすることが適当と考えられるが、咬合器装着用石こうが硬化膨張する際は咬合器の上弓・下弓による拘束圧が高まっていくと考えられ、本研究の石こう硬化膨張圧の観点から水温と練和時間を操作しても硬化膨張抑制効果は期待できず、混水比を大きくすることが有効である、という一般的な考え方から異なる結論に達した。寸法精度に優れた歯科補綴物の製作には石こうの硬化膨張量の制御が重要であると考えられ、硬化膨張率とともに本研究で得られた硬化膨張圧に関する知見は、臨床に生かすための重要なポイントであり、本研究の歯科臨床への影響力の大きさが期待できる。

また本研究では、埋没材の物性研究に利用されていた自動測定システムを石こうの硬化膨張圧測定に応用するために、治具の工夫を行った。具体的には、上方圧盤と金属製リングが接触しないように1㎜程の隙間を設定した。測定されている力には石こうの硬化膨張力だけではなく、金属製リングが上方圧盤を押し戻そうとする力も加わってしまうため、この金属製リングによる力が生じないようにする目的で隙間をあけたことは、本研究を効率的に行うことに寄与しており、伊藤氏の創造力は卓越していると言える。

一方、本研究で発見された事象の一つに、硬化膨張圧－時間曲線の様相において確認された階段状の圧力変化があるが、伊藤氏は、歯科技工操作に及ぼす影響についてはほとんどないと考察している。その理由として、硬化反応中に不安定な挙動を示したとしても歯科技工操作の良否に直接的な影響を及ぼさないものと考えられることや、硬化膨張圧がプラトーを迎えた段階から技工作業を開始すれば，階段状の圧力変化の影響は無視できるという考察で済ませているが、この所見は万能試験機を用いることで初めて検知されたものであり、今までの概念を覆すようなブレークスルーをもたらすポテンシャルがないとは言い切れない所見と考えることも可能であるので、今後の解析にも期待したい。また、この点は、今後の研究の方向性として、純粋な石こうの物性を理解する対象になることも考えられるので、研究のターゲットが広がり、今後の新たな成果につながることが予想され、興味深い。

本研究のテーマである硬石膏の硬化現象を硬化膨張圧から評価するという試みは、歯科補綴学の立場からは、硬化膨張圧をどのようにコントロールすることでどのような効果が期待できるか非常に興味深い。それを臨床的に応用する戦略の開発にとっても、非常に意義のある研究といえ、学位論文としての十分な価値が認められる。

伊藤氏の最終目標は、寸法精度に優れた歯科補綴物の製作には石こうの硬化膨張量の制御が重要であるので、硬化膨張率とともに本研究で得られた硬化膨張圧に関する知見を、今後の臨床に生かすこと

で、本研究結果を歯科技工のクオリティーに向上に寄与させることであり、今後の検討課題として、金属製リングの代わりに印象材を模したようなゴム製のリング、または、横方向の膨張圧を抑制しない（リングレス）状態における石こうの硬化膨張圧の発現の様相を検討することとしている。本研究を推進することで、新しいアプローチ法を応用して、歯科のデジタル新時代における、新しい石こうの位置づけを確立するための石こうの物性についての新しい基礎的研究へ大きく寄与することを期待する。