

ティッシュコンディショナーの流動特性とその評価

鹿児島大学名誉教授 井 上 勝一郎
(元 歯科理工学講座)

1. はじめに

以前、同誌に歯科材料の物性を検討する際、レオロジー (Rheology)¹⁾あるいはサイコロロジー (Psychorheology)²⁾といった考え方が有力な手段と成ることについて記述したことがある。今回、鹿児島大学歯学部紀要に学部創立30周年記念特集を組まれるにあたって寄稿依頼を受けたので、退官後も続けている研究活動の一部を紹介することにする。

ティッシュコンディショナーは、周知のように粘膜の損傷による疼痛の緩和、粘膜の正常化、集中的に加わる圧の緩和等の目的で使用される。そのため、適度の流動性とある程度のクッション効果が期待できる材質のものが好まれる。しかし、現在比較的容易に入手できるティッシュコンディショナーは、その硬化過程あるいは硬化後も液体的要素が極めて強いため、温度依存性が大きく、水分やその他の環境因子の影響も受け易い。したがって、材料の測定方法もできうる限り臨床に即したものでなければならない。

本稿では、圧縮によるクリープテストを行いクリープコンプライアンスの温度、時間、荷重等の依存性を調べ、歯科医師が治療上どのようなフロー特性を有する材料を好むかを調べた。また、歯科医師の指感覚と材料から受ける刺激との関連性等についても検討した。

2. ティッシュコンディショナーの流動性

ティッシュコンディショナーは、その使用目的から優れた流動性と適度の弾力性さらに好ましい表面の質

感(テクスチャー)等を備えていなければならない。

紙面の都合上、一部の図を掲載することができなかったが、現在容易に入手できる市販ティッシュコンディショナー6種類(表1)について、口腔内温度37℃のもとで行った圧縮クリープテストの結果から得られた $J(t)$ - t 曲線だけを示した(図1)。この図によると、いずれの材料も程度の差は見られるものの、 $J(t)$ の時間依存性は大きく、荷重の作用によって流動変形しやすいことを示している。また、測定開始から60 sec以降では、いずれの材料も $J(t)$ は直線的に増加する(図1)。こうした現象は、粉末の平均粒度、粒度分布、平均分子量等が製品によって異なるため、粉末への液の拡散速度に差を生じ、その結果、液成分への粉末の一部溶解あるいは膨潤の程度が、温度の影響も加わって異なってくることから引き起こされたものと考えられる。

クリープコンプライアンス($J(0)$)の逆数すなわち弾性率($1/J(0)=E(0)$)と37℃水中への浸漬時間との関係では、弾性率には殆ど変化が見られない(図2)。このことは、弾性率には浸漬時間の影響は現れ難いことを示唆している。

一般に粘弾性理論^{3・5)}では、クリープコンプライアンス($J(t)$)、易動度(J)、粘性係数(V)はそれぞれ次式で示される。

$$J(t) = J_g + (J_e - J_g)f(t) + t/V$$

$$= 1/V = (J(b) - J(a)) / (t_b - t_a)$$

この式を使用して、求めた37℃水中に浸漬した材料

表1 実験に使用された材料

材 料	メーカ	メーカ指示の練和比		コード
		粉末(g)	液(ml)	
コーンフォート™	GC	6	5	A*
フィクショナー	Nissin	2	1	B
フィットソフター	Dentsply-Sankin	3.1	2.5	C
ハイドローキャスト	Sultan Chemists	1	1	D*
ティッシュコンディショナー	GC	2.4	2	E*
ティッシュコンディショナー	Shofu	6	5	F*

* 印を付けた材料の練和比は表中の練和比を中心に5種類とした、

の粘性係数とその浸漬時間との関係では、一部の材料には大きなばらつきが見られるものの浸漬時間の増加にともなって粘度係数も明らかに大きくなっている(図3)。このことは、浸漬時間が長くなるにつれ見かけの粘度が上昇し、硬く感じるようになり、流動しにくくなることを示している。

3. ティッシュコンディショナーのサイコロロギー

Scott-Blair氏は、のちに Nutting-Blair の式^{6・8)}と呼ばれる下記の式を提唱した。

$$\sigma = f \cdot t^{-1}$$

この式を使って多くの材料の複雑なレオロジー的挙動を説明した。さらに同氏は、嗅覚のように化学的刺激に基づくものを除いて、圧など外部から加わる物理的刺激の大きさにたいして、感覚(圧覚)の強さには差があることに着目し大いにその論を展開した。そしてこの分野の研究にたいしてサイコロロギー(心理学レオロジー)と名づけた。Nutting-Blairの式は、 $n = 0$, $n = 1$ の場合には、 $\sigma = f \cdot t^{-1}$ となり弾性体を、また、 $n = 1$, $n = 1$ の場合には、 $\sigma = f \cdot t^{-1}$ となり粘性体をそれぞれ表すが、刺激の大きさに対する感覚の強さはいろいろな n の値をとりうる。そのため、得られた

のディメンジョンの解釈には難点を生じるが、同氏は人間の感覚は単純に弾性率や粘性係数のディメンジョンでは表せず、もっと複雑で総合的な量であるとしている。

一方、刺激強度(R)と感覚の強さ(E)とを関連づける研究については、心理学の分野では古くからなされ、感覚の増し高(E)は、弁別閾(R)と刺激強度(R)との比に比例するとする Weber-Fechner の法則($E = k \cdot R/R$)、あるいは感覚の大きさ(E)は、刺激強度の累乗に比例するとする Stevens の法則($E = k \cdot R^n$)などがある。サイコロロギー的な取り扱いをする場合には、これら二つの法則は大きな柱となり、フルに活用^{9・10)}される。

さて、実験結果に話をもどそう。歯科医師が、チェアーサイドで要する時間を考慮して、練和開始から1時間後の硬化物のかたさや粘性係数について、日頃の経験をもとに好ましいとするものを選ぶ方法で行った。好ましいとした回答率の対数(Log Ph, Log PE, Log Pf)表示したものと、それに対応する粘性係数の対数表示(Log V)したものと間に直線関係が見られ、Stevensの法則にも合致することがわかった(図4, 5, 6)。このことは、歯科医師が日常の臨床経験から好ましい

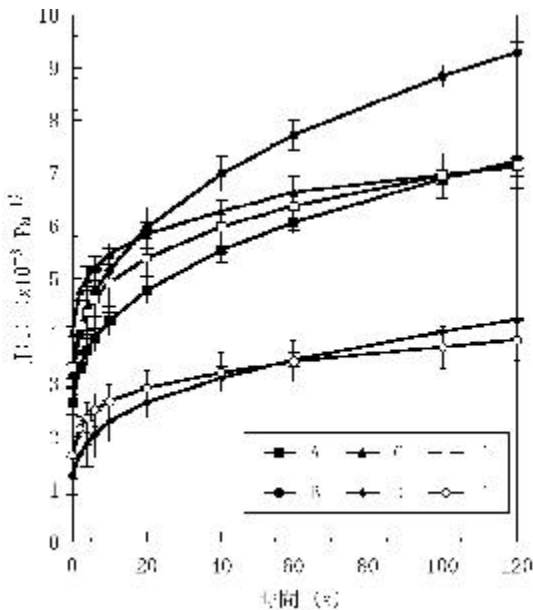


図1 ティッシュコンディショナーの時間に対するクリープコンプライアンス(37℃)の変化

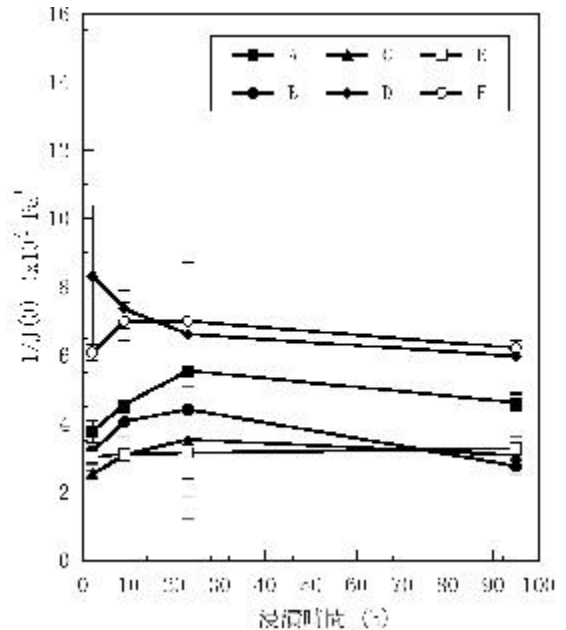


図2 クリープコンプライアンス $C(t)$ の逆数(弾性率 $E(t)$)と浸漬時間(37℃)との関係

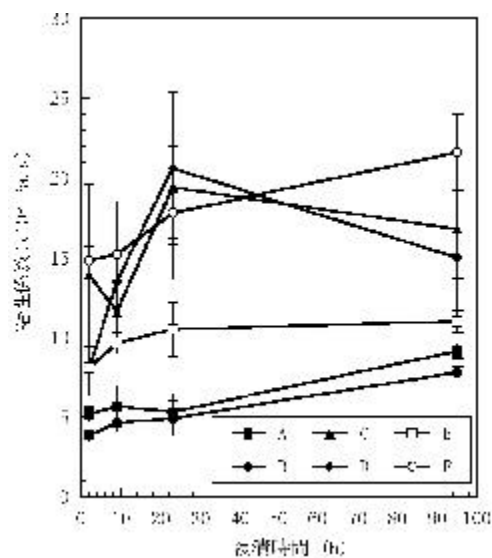


図3 試料浸漬時間(37℃)の増加にともなう粘性係数の変化

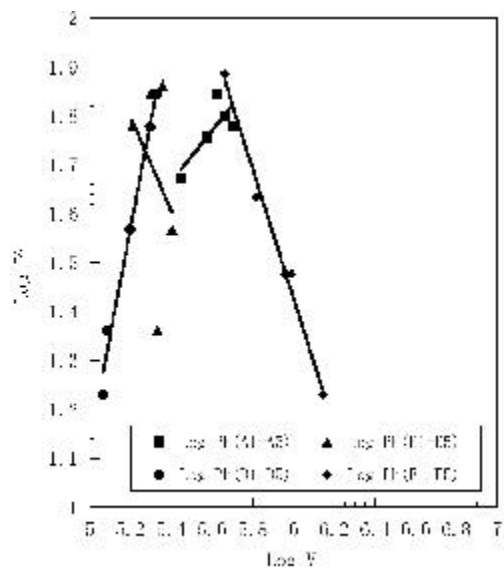


図4 指の圧覚で判別したかたさと粘性係数の関係

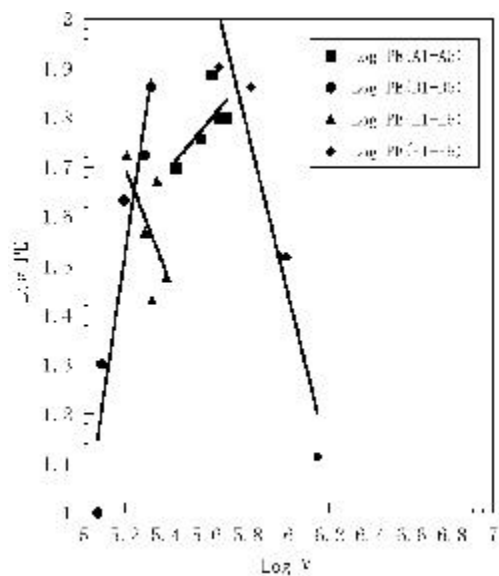


図5 指の圧覚で判別した弾性と粘性係数との関係

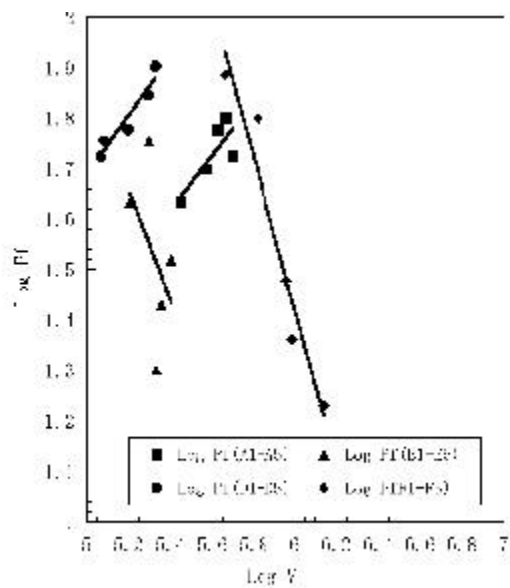


図6 指の圧覚で判断した流動性と粘度係数の関係

硬さや弾性あるいは粘性係数がどの程度のものかを指の感覚(圧覚)によって識別していることになる。しかし、 $t = 0$ でのクリープコンプライアンスの逆数の対数($\text{Log } 1/\lambda(0) = \text{Log } E(0)$)に対する Log Ph , Log PE , Log Pf においては、Stevens の法則は成立しなかった。このことは、弾性要素では識別し難いことを意味している。これらの結果は、材料の流動特性を評価する上で有力な手段とは成りうる。

4. むすび

ティッシュコンディショナーは、ポリマー(粉末)と可塑剤(液)との間で作り出される弾性要素と粘性要素とを兼ね備えた粘弾性体を利用するものである。この粘弾性体はポリマー中への可塑剤の拡散によって生み出されるため、その進み具合によって流動特性は経時的に少しずつ変化する不安定な材料といえる。このことに加えてティッシュコンディショナー硬化物は、もともと粘度が低く液体的要素が極めて大きいため温度、水分などの環境因子の影響を受け易く、それらの僅かな変化によっても流動特性は大きく変化する。

一方、粘性係数と感覚の大きさとの間には Stevens の法則が成り立ち、歯科医師は指の圧覚(粘性に基づく刺激)によって硬化物の硬さ、弾性、粘性等について日常の経験をもとに識別しているといえる。しかし、どのような流動特性を示すものが治療上最も効果的なのか、また、どのような流動度範囲のものまでは許されるのか等に関しては依然として不明な点が多く、今後取り組みねばならない大きな課題と考えている。

参考文献

- 1) 井上勝一郎：歯科材料のレオロジー，鹿齒紀，3，25-35，1983
- 2) 井上勝一郎：歯科におけるサイコロロジーとその応用，20，1-4，2000
- 3) Fredrickson, A. G.: Principles and application of rheology, Prentice-hall inc., 23-27, 1964
- 4) Tobolsky, A. V.: Properties and structure of polymers, John wiley & sons inc., 112-115., 128-133, 1960
- 5) Ritchie, P. D.: Physics of plastics, London iliffe books ltd., 47-49, 1965
- 6) Scott Blair, G. W.: The role of psychophysics in rheology. Journal of Colloid Science, 2, 21-31, 1947
- 7) Scott Blair, G. W. & Coppen, F. M. V.: The subjective judgment of the elastic and plastic properties of soft bodies; the differential thresholds for viscosities and compression moldui. Proceedings of the Royal Society London, B 128, 109-125, 1939
- 8) Scott Blair, G. W.: Measurement of mind and matter, Dennis Dobson Ltd, 58-75, 1948
- 9) Inoue, K., Song, Y. X., Fujii, K., Kadokawa, A. & Kanie, T.: Consistency of aljinate impression materials and their evaluation. Journal of Oral Rehabilitation, 26, 203-207, 1999
- 10) Inoue, K., Fujii, K. Kanie, T., Kadokawa, A. & Tsukada, G.: An evaluation of acrylic complete- dentures using the discrimination of elastic bodies or viscous fluids. Journal of Oral rehabilitation, 26, 608-612, 1999