

人の頭部毛髪 of 動的粘弾性について

昭和40年7月16日 受付

信州大学医学部 順応医学研究施設

上田 五 雨 酒井 秋 男 荒井 清

On the Viscoelastic Properties of the Human Hair of the Head

G. Ueda, A. Sakai and K. Arai

Institute of Adaptation Medicine, Faculty of Medicine,
Shinshu University

毛髪は生体の検査材料としては、極めてあつめ易く、その為、古来形態学的並びに機能的な特徴に關して幾多の研究がすすめられ、その説明は、Rothman^①、Gottron^②、Savill & Warren^③等の著書に詳しく記されている。特に、その物理学的な特性、就中、強度に關しては、Meredith^④の著述の中に適切な記載が行なわれ、一方、静的な測定法で求めた毛髪強度については、日本生理解剖常数表^⑤、その他^⑥に報告されている。所が、強度の動的な測定法による研究は、無生物材料での報告^⑦があるにも拘らず、従来の毛髪に關する多くの報告^{⑧⑨⑩⑪⑫⑬}の中では言及されていない。そこで、今回は、各種年齢層での頭髪を、諸種条件下に測定して、動的粘弾性率並びにそれに附隨する各種の値を算出し、比較検討することとした。毛髪の力学的な模型としては、弾性要素とが並列に入つたものを基礎として、以下に論議をすすめている。

材料及び方法

出生直後乃至7日迄の新生児(男12名、女8名)、20~35才の成人(男11名、女5名)、65~90才の老人(男3名、女17名)の頭頂部より頭髪を数本づつ採取した。測定期間は5月~7月、室温15~25°C、湿度63~73%の範囲内で、測定を行なつた。毛髪の動的粘弾性 E' の測定には、東洋測器製の Vibron DDV-II 型を使用した。この際、先ず、

$$E = 2.0 \times \frac{1}{A \cdot D} \times 10^9 \frac{L}{S} \quad (1)$$

という公式から、 E を算出する。ただし、 D は計器の目盛から直読でき、かつ A は備付の表^⑭から求められるので、試料長 L と、その断面積 S のみを計測すれば、 E は求められることとなる。 L はなるべく 1.5 cm に統一するように考慮した。併し、新生児では、毛髪が短いので 1 cm 弱のものを測定に用いた。 S を求める

為には、スクリューマイクロメーターで、直径を求めるのが簡易法であるが、正確には、断面を顕微鏡下に観察して計測した。

ここで得られた E をもとにして、動的弾性率 E' は、

$$E' = E \cos \delta \quad (2)$$

として算出し、動的損失 E'' は、

$$E'' = E \sin \delta \quad (3)$$

として求める。ただし、 $\tan \delta$ は計器から直読できるので、その値に相当する δ を数表から求め、 $\cos \delta$ 、 $\sin \delta$ も同時に数表から求めた。毛髪が測定器の材料固定部分のチャックからスリップすることを防ぐ為には、毛髪の両端にセロテープの薄片を貼付し、その部分をはさむようにした。

振動の周波数については、毛髪では、3.5 cps, 11 cps, 35 cps, 110 cps 等の間に大差はなく、実験技術上 110 cps の測定が最も容易であつたので、全例を通じて 110 cps を用いて測定を続けた。なお、振動変位の大きさは 15 μ 、振動荷重は約 3 g である。ただし、後者は測定条件により、その値は若干異なつている。

成 績

1. 長さの変化の E' に及ぼす影響

被検材料の内部構造が均一であれば、弾性率の値は長さには依存しない筈である。ところが毛髪の場合には、長さを次第に短くすると、 E' の値は僅かに低下する。勿論この低下の度合は、長さ 1 cm に対し、 0.5×10^{10} dyn/cm² 位であつて、他の材料で構成された物質と比較するような場合には、全く影響を及ぼさない程度である。(図 1)

2. 湿潤の影響

毛髪を水分に浸すことにより、100% 湿度状態を維持しながら、 E' を測定すると、その値は、次のよう

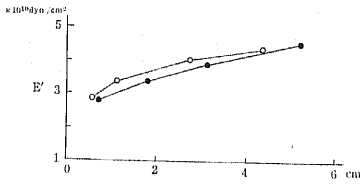


図1 長さ変化の影響
白丸は88才女子の頭髮，黒丸は20才女子の頭髮

に変化する。又半日間水中に浸すことにより、十分に水分を浸透させた後の E' は短時間浸水時の E' とほぼ同じであり、自然乾燥により元の値に近づくことは表1に示されている。

この結果、空中の湿度の多少の変動位は、常数の測定の際に、余り気にしなくてもよいことが分つた。

表1 水分の影響
(26才女子の頭髮についての実測例を示す)

対 照	E'	E''
	$\times 10^{10} \text{ dyn/cm}^2$	$\times 10^6 \text{ dyn/cm}^2$
3 ~ 18 分 浸 水	4.46	0.31
	3.49	0.36
	3.48	0.35
	3.33	0.34
	3.22	0.33
半日浸水後自然乾燥 の経過	3.46	0.35
	3.64	0.37
	3.70	0.38

3. 年齢の影響

静的な方法では、生後~成人に到る迄の毛髪強度の測定が求められている。今回求めた新生児グループと成人グループと老人グループの毛髪については、その値は次のようになる。(図2 a・b)

又、毛髪をまげたり動かしたりする際の硬さの感覚は、 $E' \times S$ とみなして、その変動をグラフにとると次の様な結果が求められた。(図3)

次に年齢と E''/E' の関係を求めると、図4が得られる。

4. Alopecia areata

円形禿髮症の患部と健康部との比較を行なうと次のようになる。毛髪の横断面の比較に関しても、両者の間に特に差はみられない。又、患者の毛髪の常数は、前述の成人グループのそれとよく一致している。

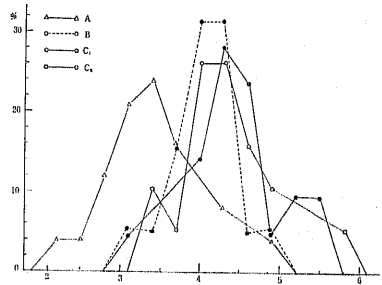


図2(a) 年齢と E'
図の中の A, B, C1, C2 は、結論中に示したものと同一、図2(b), 3, 4の記号も同様

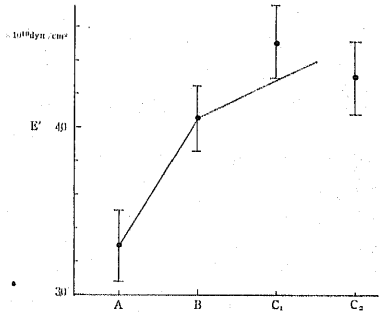


図2(b) 年齢と E'
各々の黒丸の上下の縦線は母集団平均の95%信頼限界を示す

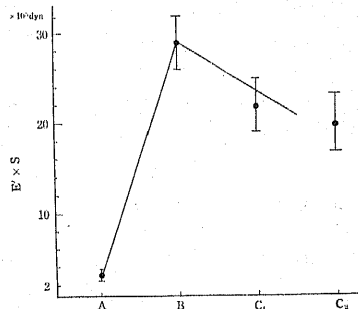


図3 年齢と $E' \times S$
年齢別の母平均とその95%信頼限界を示す

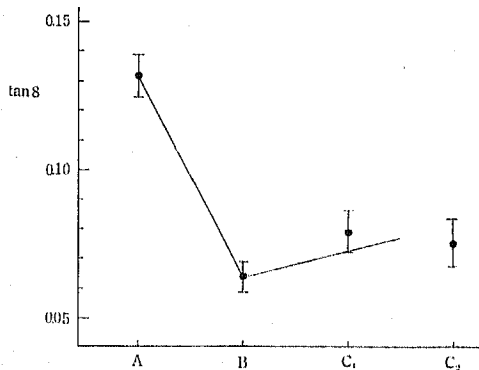


図4 年齢と tan δ
母平均とその95%信頼限界を示す

表2 円形禿髮症頭部毛髪のエ' (単位: $\times 10^{10}$ dyn/cm²)

No.	年齢	性	健康部	病巣部
Case 1	24才	♂	4.49	4.12
			4.07	4.26
			4.07	4.06
Case 2	10才	♂	3.75	3.87
			3.15	3.32
Case 3	18才	♀	3.52	3.15
			3.45	3.49
Case 4	21才	♂	3.77	4.36
			4.41	4.04
			4.18	3.20
Case 5	29才	♂	6.82	4.12
			5.40	4.28
			4.94	4.82
平均値 (1~4)			3.89	3.79
平均値 (5)			5.72	4.41

ただし、5例中1例は、疾患部の方が E' の値が小さい。(表2)

論 議

毛髪は生体の他の粘弾性体、筋、血管、皮膚等と比し、剃出後の時間的な変化が極めて少く、測定が容易であり、基本的な性質の究明には非常に好都合な材料である。

今回の実験に先立つて、振動の周波数は、110cpsに固定したが、Supersonic の範囲以外では、周波数の変化による E の変動の少ないことは、他の材料につい

ても知られている^④。

毛髪の弾性に最も関与しているのは Keratin であり、非伸展時に α -Keratin とよばれていたものが、伸展時には β -Keratin になることが、X線回折法により明らかにされている。即ち伸展により Keratin は α - β 変換を行なう。その他の組成材料の一つ、Melanin は、当然予想されることであるが、E には影響を及ぼしていない。このことは前述の黒髪と白髪のエの間有意の差のないことから明らかである。

毛髪のエ' は、Nylon の 8.1×10^{10} dyn/cm²、Viscose rayon の 19.7×10^{10} dyn/cm² (何れも 180cps で測定) 等^④に比し、やゝ低い値を示している。

一方 tan δ は、Nylon で 0.038、Viscose rayon で 0.028 であり^④、毛髪では 0.06~0.13 であるから、その値はやゝ大きいことが分る。蛙の骨格筋等ではこの値は更に大である。前述の実験でも明らかのように、試料の水分含有量が多くなると、E' の値は下り、tan δ は相対的に上つているが、新生児では成人、老人に比し E' が小で tan δ は大であり、毛髪内に水分が多く含有されていたことが予想される。次に、既述の静的測定法による弾性係数を E₀、周波数 w に対する動的弾性率を E' (w)、動的損失を E'' (w) 虚数をとすると、複素弾性率 E (iw) は、

$$E^*(iw) = E_0 + E'(w) + iE''(w) \quad (4)$$

と記される^⑤。毛髪の実効的な硬軟を比較するには、E* の代りに E' を用い、断面 S 積を乗じ、

$$E' \times S \quad (5)$$

を比較することが、便利である。勿論この値は縦軸方向の硬さをよりよく示し、横方向に対しては長径方向にまげる際と短径方向にまげる際に多少の差がみられ、前者ではより硬く感じられる。この表現法の他に、慣性能率 I と E から、

$$E \times I \quad (6)$$

を求めて硬さの指標とする考え^⑥もあるが、毛髪の固定端から重心迄の距離を r、質量を m、長さ ℓ 、比重を ρ とすると、

$$I = m r^2 \quad (7)$$

であり、

$$E \times I = E m r^2 = E \cdot S \cdot \ell \cdot \rho \cdot r^2 \quad (8)$$

となり、 ρ が全長にわたり均一で、 ℓ が一定の材料では (5) と (6) は等価となる。E と E' は異なるが、

両者の増減は同じ方向に増減するので、相対的に比較する場合には個々の試料間の E'/S の大小の順序と E の大小の順序には変りがない。頭部毛髪が外傷に対する保護作用を営んでいて、そのはたらきは E'/S の大なる毛髪の数が多いほど完全であると考えると、最も活動的な成人層で、その作用が強く、新生児ではその値が小さく、従つて保護作用の発達が不完全であるとも解釈される。

S に関しては極めて詳細な報告^①があり、毛髪の強度は殆ど S によつて決定されていることが今回の実験で明らかにされた。この事は、他の動物の毛髪に関する実測でも認められた。やぎのひげは極めて硬く、羊毛は非常に軟く感じられるが、前者は 5.3×10^{10} , 6.3×10^{10} 等で、後者は 5.9×10^{10} , 6.8×10^{10} 等であり、何れも 10^{10} dyn/cm² の order で、実感の差は専ら太さの差によるものであることが、ここで明らかである。即ち、やぎひげと羊毛の E' はほぼ等しいが E'/S の比は 22:1 となり非常に大きい差を生じている。

最後に円形禿髮症の疾患部採取毛と健康部毛の間に余り差がなかったのは、疾患部辺縁では既に正常毛が生えていた為であるとも考えられる。

結 論

頭頂部より採取した人の毛髪を実験材料とし、室温の下で、粘弾性測定器(東洋測器, Vibron DDV-II)を用いて、機械的なインピーダンスを求めた。その際、振動の周波数は 110cps に固定した。

結果は次の如くである。

1) 新生児(A)の毛髪は、成人(B)及び黒髪老人(C₁)、白髪老人(C₂)のそれより、柔軟である。動的強性率 E' の平均値は A 群の 25 例に対して、 3.3×10^{10} dyn/cm², B 群の 19 例に対しては 4.1×10^{10} dyn/cm², C₁ 群 20 例に対し 4.9×10^{10} dyn/cm², C₂ 群 19 例に対しては 5.0×10^{10} dyn/cm² となつた。A と B, C の間には 5% の危険率で有意の差があるが, B, C₁, C₂ 間には有意の差がない。

2) 毛髪の断面積を S とすると、 E'/S は触感にもとづいて硬さを比較する指標となる。この値は A では $3.4 (\times 10^6 \text{ dyn})$ (括弧内は以下省略)、B では 29.4, C₁ では 22.1, C₂ では 20.4 となつている。それ故、B, C の E'/S は A のそれの 6~9 倍である。 E' 単独では A に対し B, C は 1.2~1.4 倍であるから、かたさは主として太さの差にもとづいている。

3) 水分含量が増すと、 E' は減じ、 $\tan \delta$ は増加し、乾燥すると再び E' は元の値に近づく。新生児で

$\tan \delta$ が B, C に比し大きい値を示すことは、測定条件下で、水分含量が相対的に多かつたことを推定せしむるものである。

4) 円形禿髮症 5 例中 4 例では、健康部と病部周辺部の毛髪の E' の間に有意の差を認めなかつた。

文 献

- ① Rothman, S.: Physiology and Biochemistry of the Skin, 1st ed., The University of Chicago Press, Chicago, 1954 ② Gottron, H. A., und Schönfeld, W.: Dermatologie und Venerologie, Band III/Teil 2, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1959 ③ Savill, A., and Warren, C.: The Hair and Scalp, 5th ed., Edward Arnold LTD., London, 1962 ④ Meredith, R.: The Mechanical Properties of Textile Fibres, 2nd ed., North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1959 ⑤ 袋島高福: 日本人人体正常常数值表, p.186-190, 技報堂, 東京, 1958 ⑥ 辻哲夫: 毛髪の強さと伸張性に関する研究 (第1報), 皮膚科病科雑誌, 66: 311, 1956 ⑦ 阿部嘉宜・鈴木明: 軟大工学部研究報告, 15: 19-26, 1965. s ⑧ 小野三嗣・安部 勉: 頭髪・脱毛及び頭垢の消長に関する研究, 第1報 季節的变化について, 日本生理誌, 24: 252-256, 1962 ⑨ 小野三嗣・安部 勉: 鬚及び頭髪の成長に関する研究, 小リズム性と 2, 3 可変因子, 日本生理誌, 25: 254-261, 1963 ⑩ 小野三嗣・安部 勉: 頭髪脱毛及び頭垢の消長に関する研究, (2) 脱毛及び頭垢のリズムについて, 日本生理誌, 25: 267-272, 1963 ⑪ 小野三嗣・安部 勉: 頭髪脱毛及び頭垢の消長に関する研究, (3) 頭頂薬物の影響について, 日本生理誌, 26: 313-317, 1964 ⑫ 武田 晃: 家兔の毛生に関する研究, 信大繊維学部報告, 5: 26-30, 1955 ⑬ 武田 晃: 甲状腺副給与がアノゴラ毛の毛量並びに毛質に及ぼす影響, 信大繊維学部報告, 7: 48-51, 1957 ⑭ 東洋測器: 直説式動的粘弾性測定器取扱説明書, 東洋測器株式会社, 1964 ⑮ 小野木重治: 最近の粘弾性理論, 高分子展呈, 18: 1-31, 1955 ⑯ 窪田 潤: 絹布の触感の研究, 信大繊維学部報告, 1: 91-96, 1951 ⑰ 橋本 謙: 解剖学, 組織学, 発生学 (1) 日本皮膚科全書第1巻 第1冊, p.254, 金原, 東京, 1958