

# ダイナミック・スプリントのゴム牽引力が 指尖部末梢血流循環に及ぼす影響について

柴田克之 生田宗博 野村忠雄

Effect of rubber band compression  
on the peripheral blood flow when using a dynamic splint.

Katsuyuki Shibata, Munehiro Ikuta  
and Tadao Nomura

## SUMMARY

The purpose of our study was to exert the effect of compression on the finger tips caused by the rubber bands of a dynamic splint. We tested a random sample of 20 normal subjects (10 females and 10 males) with an age range of 19 to 24 years. The blood flow and skin temperature of the finger tips were measured during the application of the splint when the rubber bands generated the compression force. The rate of blood flow was 58.7% in the females subjects and 74.9% in the males after three minutes of compression with a traction force of 125 grammes (g). The traction force of 250g for three minutes resulted in a blood flow rate of 39.1% in the females and 47.6% in the males. The rate reached a plateau thereafter, which implied that the latter force resulted in a larger decrease in the blood flow. The temperature of the finger tips dropped by approximately 0.3°C per minute with a 125g traction force and by approximately 0.5°C with a 250g traction force. The subjects who experienced symptoms such as numbness and or pain during the experiment did so when the rate of blood flow decreased by approximately 40% and the skin temperature of the finger tips dropped by approximately 6°C.

The result implies that, by measuring the blood flow of the finger tips, it is possible to detect symptoms effectively during the use of a dynamic hand splint.

## はじめに

手の外傷や末梢神経麻痺などに起因した手指の関節拘縮や筋力低下を呈した患者に対し、拘縮の改善や筋力強化を目的に、種々の作業<sup>1),2)</sup>や徒手の訓練の他に、装具療法としてゴム牽引力を利用したダイナミック・スプリントを用いる場合がある。しかし、この場合のスプリントのゴム牽引力は、拘縮除去や筋力強化に有効である一方、末梢部の血流を阻害する危険性を常

に有しており、臨床場面では各患者でのスプリントの牽引力の決定は、作業療法士の主観と経験に頼る事が多い。一般的にスプリント装着時間<sup>3)</sup>は、15分~20分間程度が適切とされているが、ゴム牽引力が強すぎると5~6分程度で、カフが接触している皮膚部分に痛みやシビレ等の自覚症状がみられたり、指尖部にチアノーゼが認められることがしばしば経験される。

そこで我々は、ゴム牽引力が指尖部血流に対

して如何なる影響を与えるかを、経時的に検討したので報告する。

**対 象**

対象は、健全な若年成人の男性10名(21.5±2.5歳〔平均値±標準偏差〕)、女性10名(19.7±1.3歳)の計20名であり、いずれも過去に手指の脱臼・骨折や末梢神経損傷等の既往歴を有しない者であった。

**方 法**

検査姿勢は、椅子座位で安静な肢位をとり、測定する右前腕は回内位とし、手関節10°~15°背屈位、第2指~第5指MP関節が伸展位で固定されるようにコックアップ・スプリントを装置させた(図-1)。また牽引するためのカフは中節骨部掌側面にあて、ゴムで中節骨<sup>3),4)</sup>に対して垂直方向へ15分間牽引した。牽引は、第2指~第5指の各指1本ずつ順次に行った。なおカフの幅<sup>5)</sup>は、各被検者のPIP関節とDIP関節間の距離とし、PIP関節とDIP関節が、完全屈曲できる大きさに採型した。第2指~第5指の指尖指腹部には、バイオメディカル社製熱勾配式組織血流計とタカラ社製サーミスターの各センサーをつけ、指尖部血流量と指尖部皮膚温を、同時に測定した。

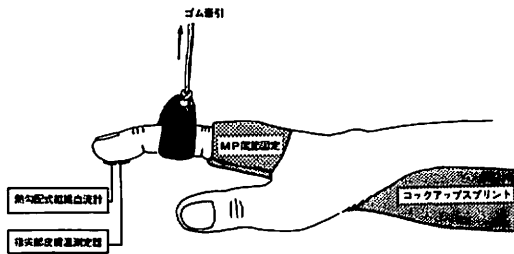


図-1 指尖部血流・指尖部皮膚温の測定方法

指尖部血流量測定<sup>6),7)</sup>で用いたセンサーは、半導体のペルチェ素子二つを組み込んだ、ディスク型センサーである。この両素子に一定の電流を流すと、一方は熱の発生、もう一方には、熱の吸収が起こり、その結果、両素子間に一定の温度勾配が生じる。そこでこの温度差ΔTを

熱起電圧差ΔVとして測定し、血流量は電圧差ΔVの逆数<sup>6)</sup>として求めた。ダイナミック・スプリントの牽引<sup>8)</sup>には、ゴムやバネのような弾力性に富む材料やベルクロ、ストラップ、皮など非弾力性の材料が用いられるが、今回は牽引力を容易に調節でき、よく臨床で用いられているゴムを使用した。ゴム牽引力は、一般的に筋力強化を目的とする250g牽引と、関節拘縮改善を目的とする125g牽引とされており<sup>9)</sup>、この2種類の牽引力で実験を行った。

本実験を始めるにあたり、ゴム牽引力と伸張度の関係について、島津製 Auto-graphy S-100 を使用して測定した。ゴム牽引力と伸張との関係式<sup>9)</sup>は(図-2)、ゴム伸張をX、牽引力をYとすると、2次回帰曲線式で、 $Y=0.83X^2+4.16X$ であり、相関係数(r)は0.87であった。すなわち、250g牽引に対するゴム伸張は15cm、125g牽引は10cmとなる。

測定時間は、牽引開始前の安静時5分間と牽引開始後の15分間、牽引除去後の5分間の計25分間とし、指尖部血流量と指尖部皮膚温を連続的に記録した。また測定は、24℃~26℃に空調された部屋で行われた。

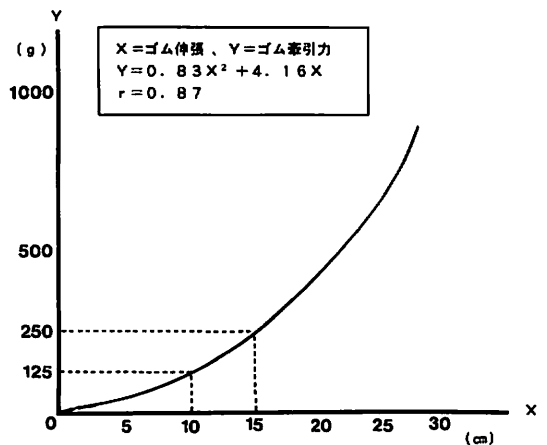


図-2 ゴム牽引力と伸張の2次回帰曲線式

図-3は、測定された代表的指尖部血流波形である。図中のA点は、安静時の血流波形の位置を示す。B点は、マンシェットで水銀圧300

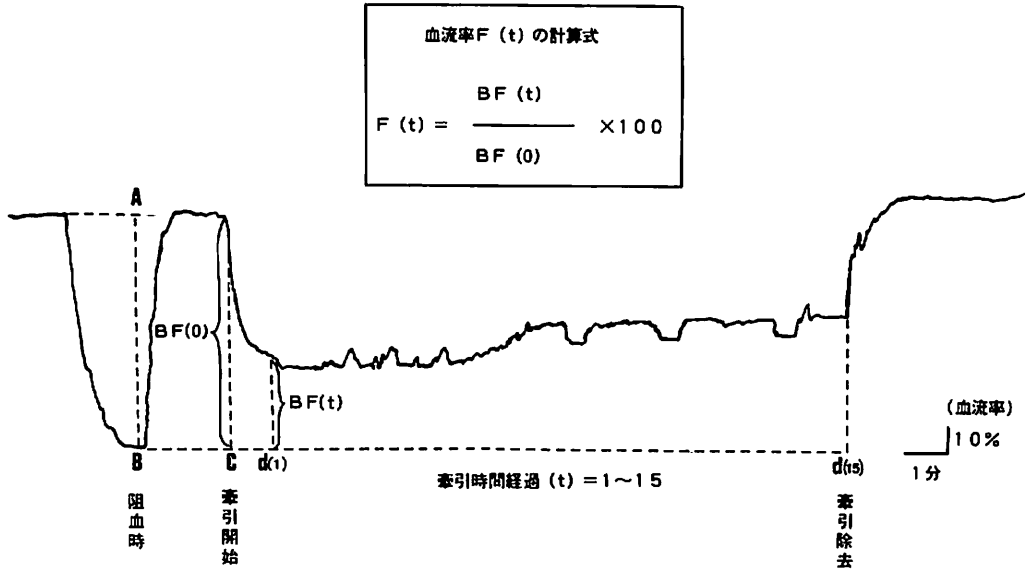


図-3 代表的な指尖部血流波形

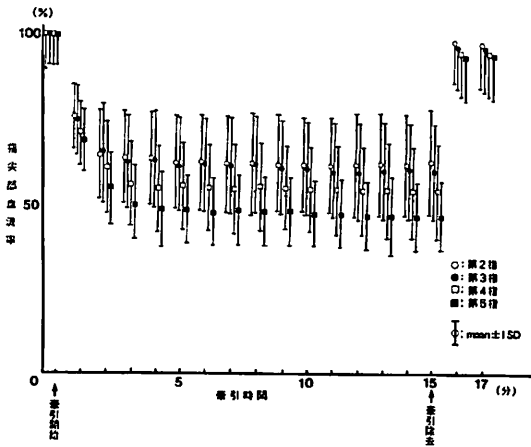


図-4 女性・125g牽引の指尖部血流率

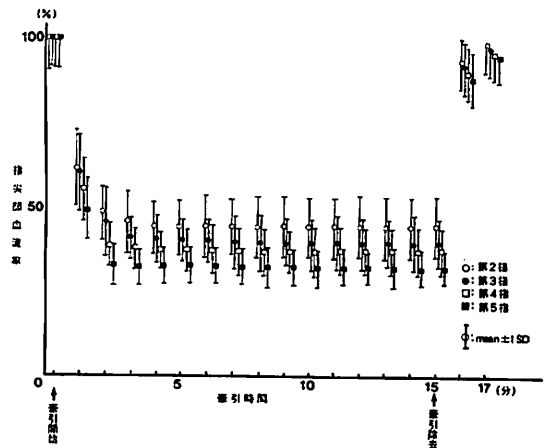


図-5 女性・250g牽引の指尖部血流率

mmHg 加圧で阻血した状態の位置を示し、ここを基線とした。A B間距離は安静時の振幅であり、これを安静時血流量Blood Flow(0)(以下BF(0)と略す)とした。指尖部血流率(以下血流率と略す)は、安静時の指尖部温度差の逆数(BF(0))に対する、牽引時の指尖部温度差の逆数であり、血流量BF(t)の相対値である。このように血流率は、図中に示したように牽引開始のC点からt分経過後のBF(t)のBF(0)に対する百分率で求めた。尚、有意差の検定は危険率5%以下を有意とし、t検定を用いて行った。

## 結 果

### A-牽引力・牽引時間と指尖部血流変化

指尖部血流率について述べる。女性の125g牽引後の血流率(図-4)は、牽引開始後急激に減少し、3分後には、第2指~第5指の平均血流率(以下平均血流率と略す)58.7%、その後プラトーに達し、牽引中の変動もすくなかった。牽引除去1分後には、血流率は100%に回復した。各指ごとの結果をt検定と比較すると、牽引開始2分以降では第4指、5指は、第2指、3指に比べ、危険率5%で有意な血流減少を認

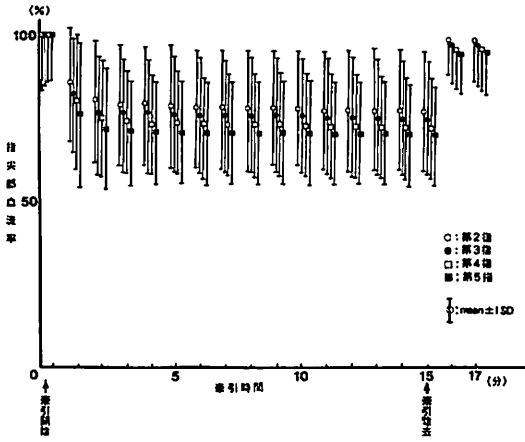


図-6 男性・125g牽引の指尖部血流率

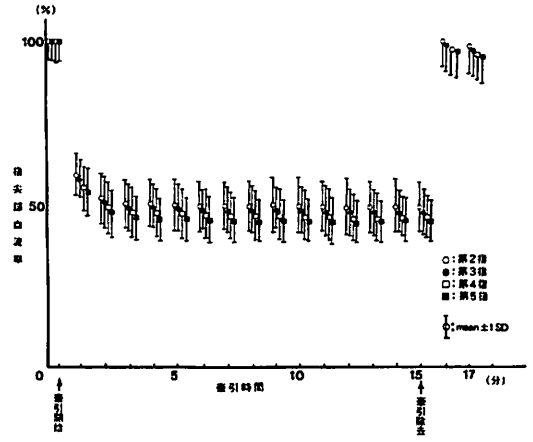


図-7 男性・250g牽引の指尖部血流率

めた。250g牽引でも(図-5)3分後の血流率は、平均血流率で39.1%に減少し、その後プラトーを示しており、牽引除去1分後に平均血流率98.7%、2分後に平均血流率102.4%に回復した。牽引による血流率は、125g牽引及び250g牽引共に牽引後約3分間でほぼプラトーに達することを確認した。

次に男性の指尖部血流率を見ると、125g牽引の平均血流率(図-6)は、3分後に74.8%、250g牽引(図-7)では47.6%に達し、牽引除去1、2分後に回復した。

125g牽引下においては、男女共に自覚症状は認められなかった。しかし250g牽引下では女性10名中8名に自覚症状が出現し、牽引2~3分後の指尖部血流率は40%以下に達し、自覚

症状はその後、血流率がプラトーに達して5~6分経過した時点から、指尖部及びカフ接触部にシビレ感や痛み等の症状を訴え始めた。

また男性では、250g牽引時に牽引開始12分後より、男性10名中5名にシビレ感、痛み等の症状を訴えた。

B-牽引力・牽引時間と皮膚温変化

指尖部皮膚温は、男女共に牽引中ゆるやかな低下を示した。女性の指尖部皮膚温の変化を見ると、125g牽引の第2指~第5指の指尖部皮膚温平均(以下皮膚温平均と略す)(図-8)は、15分後に皮膚温平均は6.5℃低下し、1分当たり約0.4℃の低下を示し、牽引除去2分後に回復した。250g牽引(図-9)では15分後

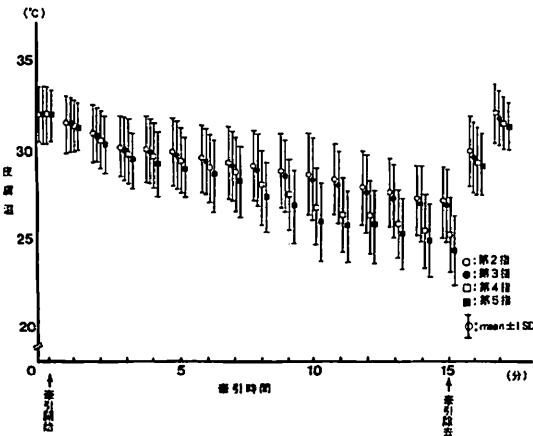


図-8 女性・125g牽引の指尖部皮膚温

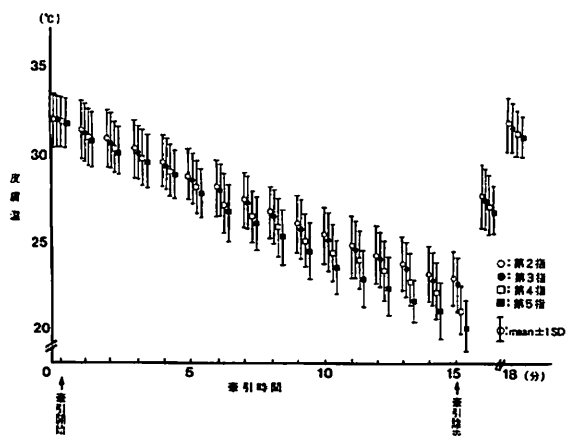


図-9 女性・250g牽引の指尖部皮膚温

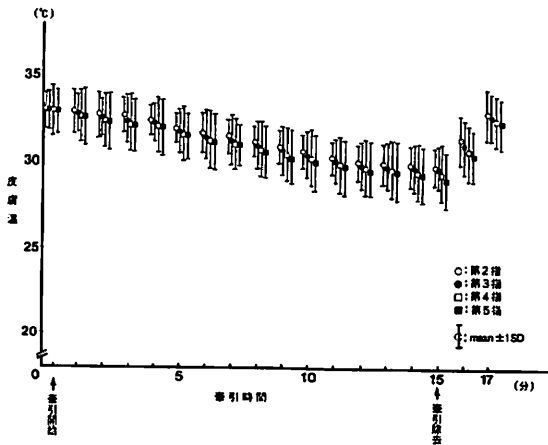


図-10 男性・250g牽引の指尖部皮膚温

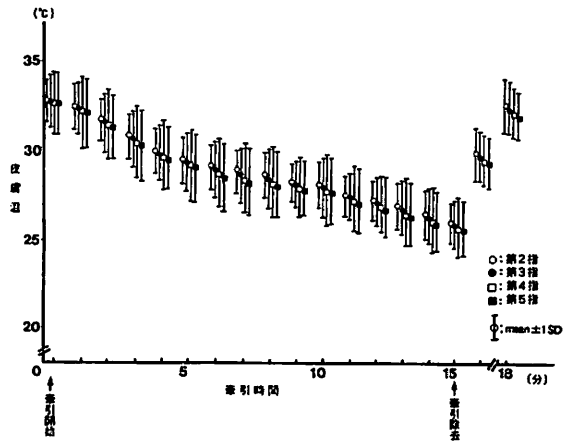


図-11 男性・250g牽引の指尖部皮膚温

に皮膚温平均 $10^{\circ}\text{C}$ 低下し、1分当たり約 $0.6^{\circ}\text{C}$ の低下を示した。女性の指尖部皮膚温を各指ごとに比較すると、第4指、5指は第2指、3指に比べ著しい減少を認め、t検定では125g牽引は牽引開始8分以降に、250g牽引は牽引開始6分以降に各々危険率5%で、有意な減少傾向を示した。

一方男性の指尖部皮膚温は15分後に125g牽引(図-10)では、皮膚温平均 $2.8^{\circ}\text{C}$ 低下し、1分当たり皮膚温は約 $0.2^{\circ}\text{C}$ の低下を示し牽引除去2分後に回復した。250g牽引(図-11)では、15分後に皮膚温平均 $7.5^{\circ}\text{C}$ 低下し、1分当たり皮膚温は約 $0.4^{\circ}\text{C}$ の低下を示し、牽引除去後3分で回復した。男性の指尖部皮膚温を各指間で比較すると、125g牽引、250g牽引共に有意な差は認められなかった。すなわち自覚症状の出現は、女性では牽引開始7分以降、男性では牽引開始12分以降であり、その後自覚症状は女性では80%、男性では50%に出現した。

#### C-指尖部血流率と皮膚温における男女差

125g牽引における指尖部血流率を男女で比較すると、牽引後プラトーに達した平均の血流率は、男性74.8%、女性58.7%であり、男女間において牽引中は危険率5%で有意な差を認めた。皮膚温測定では、牽引中1分当たり男性 $0.2^{\circ}\text{C}$ 、女性 $0.4^{\circ}\text{C}$ の低下を示したが有意差は認められなかった。

250g牽引における、指尖部血流率を比較すると牽引後プラトーに達した平均血流率は、男性47.6%、女性39.1%であり、男女間において牽引中は危険率5%で有意な差を認めた。皮膚温測定をみると牽引中は、1分当たり男性 $0.4^{\circ}\text{C}$ 、女性 $0.6^{\circ}\text{C}$ の低下を示したが有意差は認められなかった。

#### 考 察

手指の関節拘縮に対して、ダイナミック・スプリントは、ゴムやバネ等の持続的な弾性により、拘縮した関節を徐々に柔軟にし、引き伸ばす事を考慮して作製される。従って力学的に、牽引力を効果的に与える要素としては、2点考えられる。第1に、ゴム弾力性が強い程、矯正力は増大する。また第2に、牽引部位を罹患関節より末梢に移動させる事により、関節に作用する力は、関節軸と牽引カフのついた距離に比例して、トルクは増大し関節拘縮に対して有効である。しかし生体にあってはカフを介して与えられる強い圧迫は、末梢の血液循環<sup>10)</sup>を阻害するマイナス因子として働く。たとえばPIP関節を罹患関節としたならば、DIP関節の末梢部にカフを移動しすぎると、可動性のある正常関節に牽引力が消費され正常関節を損傷したり、拘縮のある関節に対しては、牽引力が減少すると考えられる。上記の過程により強い牽引力と牽引部位を末梢に移す方法は、末梢の血流

循環を阻害し二次的な拘縮へとつながることが懸念される。

125 g 牽引及び250 g 牽引時の各指間を比較すると第4、第5指は、第2、第3指に比べ血流率が著しく減少を示している。これは第2指～第5指全てを、同一の牽引力(125 gと250 g)で牽引したために、それぞれの指の周径の違い、すなわち第4指、第5指の周径は、第2指、第3指に比べ小さく、皮膚に接触しているカフの単位面積当たりの圧迫力の差となって生じたものと考えられる。この事から各指に対しては、血液循環の不均衡が生じないように、各指に適した牽引力を決定し、またカフによって加えられる指の単位面積当たりの圧迫力を考慮し、カフの形状と大きさに注意して、牽引する事が望まれる。

指尖部血流率は、125 g 牽引及び250 g 牽引共に、牽引約3分後にプラトーに達する。スプリント装着時の血流阻害の程度は、臨床場面においては患者の基礎疾患の有無や関節拘縮の重症度<sup>11)</sup>による差が考えられ、牽引後出現する自覚症状の有無は、牽引約3分～5分後に、およそ判定し得ると考えられる。すなわち牽引後の血流率を3～5分間継続的に観察することにより、早期に患者の指尖部にマイナス因子として作用する、牽引力、牽引方向、カフの幅等をチェックでき、その因子を除去する事が可能となるであろう。

次に自覚症状について述べる。125 g 牽引では、指尖部に自覚症状を呈する例が、男女共にいなかったことから、比較的長時間の牽引が可能であると思われる。また、125 g 牽引を我々は、臨床場面で手指関節拘縮患者<sup>12)</sup>に対して実施しており、牽引中の10分～15分間は、著明な末梢循環障害を認めず、関節可動域の改善を得ることができる。

一方250 g 牽引では、男女共に指尖部やカフ部に痛みやチアノーゼ等の自覚症状を呈した事から、250 g 牽引では末梢部循環状態を経時的にチェックする必要があり、牽引時間も数分以内にとどめくべきであるとする。牽引力を強

くする場合は、装着時間を数分間とし、患者に末梢循環障害の2次的障害を生じさせないように、十分に配慮し指導する必要がある。

皮膚温測定結果を見ると自覚症状出現の有無は、250 g 牽引時に男女共に安静時皮膚温より、約6℃低下した時点に出現している。従って牽引除去の判断は、安静時皮膚温より約6℃低下した時点が自覚症状出現のボーダーラインとして決定することができる。

次に男女間における指尖部血流率及び指尖部皮膚温変化について述べる。それぞれ危険率5%で有意な差を認めた。この原因としては、男女間での手指周径差や、神経血管反射などの生理的なものの関与も考えられる。

以上のことから、牽引による末梢血液循環障害の程度は、指尖部血流率と指尖部皮膚温測定によって判定することが可能と思われる。指尖部血液阻害の危険性の判断は、患者の自覚症状を最も重視するわけであるが、今回の結果から自覚症状の出現する以前に判定が可能と考えられる。その判定には血流率と皮膚温の変化が参考となる。即ち、皮膚温の6℃の減少を一つの目安とすることができるが、この場合、牽引開始後約7～12分の経過をみる必要がある。しかし血流率を測定した場合、血流率が40%以下に達した時点、健常者では牽引後2～3分で、自覚症状の出現を予測し得る。このことは、適切な牽引力を処方するうえで、極めて有益な情報を与えてくれることになる。

今後、実際の患者において、牽引による指尖部血流率、皮膚温を測定し自覚症状との関係を追求すると共に、スプリントの力学的な作用及び、カフの形状・材質等についても検討して行く方針である。

#### まとめ

健常成人男性10名、女性10名においてダイナミック・スプリントのゴム牽引による、指尖部血流率と指尖部皮膚温の変化を測定し比較検討した。その結果以下の4点を確認することができた。

①血流率は、牽引開始3分後には125g牽引で女性58.7%、男性74.9%になり、250g牽引では、女性39.1%、男性47.6%で以後プラトーとなった。即ち、250g牽引は125g牽引に比べより指尖部血流循環を阻害した。

②指尖部皮膚温は125g牽引では1分当たり約0.2℃の低下、250g牽引では約0.4℃ずつの低下を示した。

③自覚症状を呈した例は、牽引後の指尖部血流率が約40%以下、指尖部皮膚温が、約6℃の低下を示した。

④指尖部血流率の測定により、自覚症状の発現を早期に予測することが可能であり、手の外傷等による手指関節の拘縮に対するダイナミック・スプリントの牽引力を決定するのに指尖部血流測定は、有益と思われる。

#### 文 献

- 1) 生田宗博 他：手・指再接着術後早期からの作業療法，理・作・療法，16：447-454，1982.
- 2) 矢崎潔：手の外科における作業療法，理・作・療法，16：473-486，1982.
- 3) 原武郎：手副子 Hand Splint，理・作・療法，1：43-50，1967.
- 4) Maude, H.M.: Manual on Dynamic Hand Splinting with Thermoplastic Materials, ABC press, 44-51, 1982.
- 5) Elaine. E. F. 著，内西兼一郎訳：手の装具療法，1版，54-75，医学書院，東京，1983.
- 6) 中村秀喜 他：Peltier stackを利用した電極による皮膚血流量連続測定の試み，呼吸と循環，34：777-782，1986.
- 7) 荻原弥四郎 他：熱電効果による体表循環の測定，千葉医誌，41：384-397，1965.
- 8) Laura, A.M. et al.: Dynamic Splinting: A Systematic Approach to the Selection of Elastic Traction. Arch Phys Med Rehabil 67: 241-244, 1986.
- 9) 宮原将平：フックの法則，1版，22-44，共立出版，東京，1980.
- 10) 吉村光生：切断指再接着術とその後のリハビリテーション，理・作・療法，14:763-768,1980.
- 11) 茨木邦夫：手の外傷性拘縮のリハビリテーション，整形外科，32，1371-1374，1981.
- 12) 生田宗博 他：関節拘縮に対する矯正装具の効果と作業療法（投稿中）