

総説



脳卒中片麻痺患者の下肢関節における 拘縮の予防および改善の方法に関する一考察*

松永貴史¹⁾

【要旨】

下肢関節の拘縮はactivity limitations (活動制限), participation restrictions (参加制約)につながると共に、新たな疾患を生み出す可能性がある。そこで本稿では、脳卒中片麻痺患者における下肢関節の拘縮に対して、どのようにリハビリテーションを進めるべきか、近年の報告に基づいて考察した。拘縮は一度形成されると改善が困難であることから、拘縮が生じていない時点から予防的対策を採る必要があると思われる。拘縮は関節運動量の減少、麻痺側の筋力低下と痙縮によって引き起こされるため、これら3要素の改善によって予防できる可能性がある。予防の具体的手段としては、徒手での関節可動域訓練だけでは不十分であり、発症早期からの離床、麻痺側の筋力増強、そして場合によっては矯正を目的とした装具の長時間装着が必要と考えられる。拘縮の治療において温熱療法が頻繁に使用されるが、温熱療法単独での長期的な効果があるか否かは不明である。従って温熱療法は、疼痛軽減、痙縮軽減、組織の伸張性向上のいずれかを目的として運動療法に併用する治療法であると考えられる。

キーワード：拘縮・予防・改善

はじめに

脳卒中発症後には、運動麻痺、高次脳機能障害や廃用症候群といったimpairment (機能障害)に加え、基本動作や日常生活活動の能力も低下する (activity limitations)。例えば、地域の全脳卒中患者を対象とした調査によると、リハビリテーション終了時に50%の患者が歩行自立を達成したが、11%の患者は介助を要し、18%では歩行不能であった¹⁾。更に、急性期における厳重なリスク管理と発症24時間以内の離床、そして医師・看護師・理学療法士のチームアプローチを実施する脳卒中ユニットにおいても、発症から6週後のBarthel Indexが75点を下回った患者は41.2%にも上っている²⁾。

またimpairmentのうち、各種の基本動作に必要な下肢の関節可動域 (以下、ROM) については、多数の報告がある。例えば椅子からの立ち上がりでは、

足関節を22.5°背屈させて両足を後方へ引くと、支持基底面が重心のより近くに位置する。その結果、膝関節伸展相以前の股関節屈曲の角度・角速度を大きくする必要がなくなり、下肢の筋力低下を来した患者でも立ち上がりが可能となる³⁾。また、正座、あぐら (胡座) や横座りなどの和式動作を実施するためには、十分な下肢のROMが必要となる。例えば、立位から両膝を同時に屈曲させて胡座位となる途中で、股関節は最大で屈曲123°、外旋15°、膝関節は最大で屈曲130°までのROMが必要となる⁴⁾。

そして、各動作に必要なROMが得られない場合、動作の遂行が困難となる。例えば距腿関節の固定術を受けた患者は、距腿関節での背屈・底屈の代わりとして、歩行の立脚中期では横足根関節・足根中足関節・中足趾節関節での計5°の伸展、toe offでは同3関節での計12°の屈曲を利用している。次に、膝関節をギプスによって伸展0°位に固定された患者は、固定された下肢を振り出す際、分回しと非固定側下肢での伸び上がりを用いている。更に、股関節屈曲21°、外転5°での固定術を受けた患者は、固定側の立脚後期では骨盤前傾と腰椎前彎、非固定側の立脚期では骨盤回旋といった代償運動を利用している。その結果、快適歩行での酸素摂

* Strategies of prevention or treatment for joint contractures in hemiplegic lower extremity of patients with stroke

1) 鶴飼リハビリテーション病院 リハビリテーション部
Department of rehabilitation, Ukai Rehabilitation Hospital
Matsunaga Takashi, RPT

取量は、同じ速さで歩行する健常者と比較して、距腿関節固定術の患者で3%、膝関節のギプス固定で17%、股関節固定術で32%増大すると報告されている^{5, 6, 7)}。

また、脳卒中やアルツハイマー型痴呆などの脳損傷患者が寝たきりとなった際、屈曲性対麻痺と呼ばれる両側の股関節および膝関節の屈曲拘縮を来しやすい⁸⁾。そして屈曲性対麻痺の患者では、更衣や清拭などの介護が困難になると共に、背臥位では仙骨後面の皮膚が強く圧迫され、同部で褥瘡が発生しやすくなる⁹⁾。更に更衣や清拭の介護に支障を来すほど関節の柔軟性が低下すると、介護中に骨折が引き起こされることもある¹⁰⁾。

以上より、脳卒中片麻痺患者の下肢における拘縮は、activity limitations, participation restrictions につながると共に、新たな疾患を生み出す可能性があるため、どのような患者に対しても拘縮の予防は重要であると考えられる。そこで本稿では、脳卒中片麻痺患者の下肢関節における拘縮に対して、どのようにリハビリテーションを進めるべきか、近年の報告に基づいて考察した。

1. どのように拘縮は形成されるのか ～拘縮を引き起こす因子の検討～

では、拘縮はどのようにすれば予防できるのか。それは、拘縮の形成過程や拘縮を引き起こす因子について知り、それを取り除くことで可能になると考えられる。

まず、関節運動量の減少(不動)が一般的な拘縮原因のひとつとされるが、これは脳卒中でも同様と考えられる。脳卒中発症後2週と4週の2つの時点で、足関節背屈のROMと1日24時間にわたる(日常生活とリハビリテーション治療を含む)足関節の運動量を測定した報告がある¹¹⁾。この報告では、発症後2週から4週までの2週間で足関節背屈のROMが低下した群(低下群)と低下しなかった群(維持群)が比較され、発症後2週の時点で足関節が背屈0°より背屈域に達する時間の合計が、低下群は24時間のうち19±40分、維持群は137±138分であった。更に、発症後4週の時点で底屈10°より背屈域に達する時間の合計が、低下群は24時間のうち106±103分、維持群は343±170分であり、発症後2週と4週での足関節が背屈域に達する運動量には2群間で有意差が認められている¹¹⁾。

また、脳卒中患者では、上位運動ニューロン損傷による陽性徴候(伸張反射が速度依存性の亢進を示した状態である痙縮、複雑な課題や最大筋力の発揮時に生じやすい、非意図的な運動である連合反応)と陰性徴候(筋力低下、巧緻性低下)が発生する。そして、一次障害である陽性徴候と陰性徴候への反応として、他動運動に対する抵抗感の増大である筋緊張亢進、拘縮、そして運動パターンの変化といった二次障害が出現すると考えられている(図1)¹²⁾。この図の矢印は、ある要素が他の要素に移行する可能性を示している。その一例として、痙縮と麻痺側の筋力低下に起因する不動は、

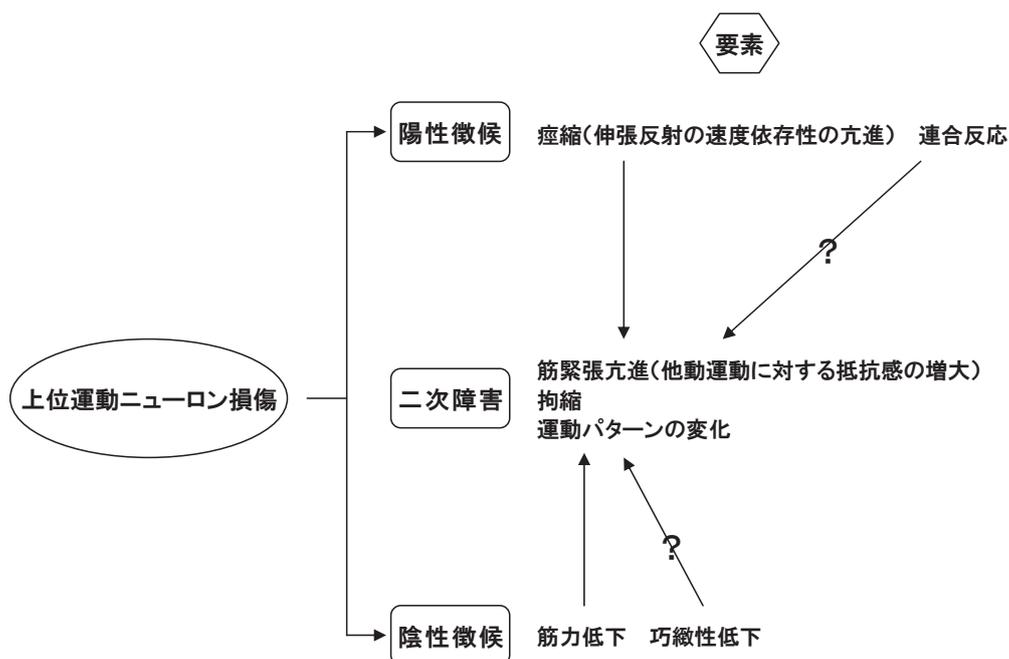


図1 上位運動ニューロン損傷後に生じる徴候、障害および要素の分類と、要素の関連(文献12より改変引用)

筋・腱・結合組織を短縮した位置に置き、その伸張性を低下させて筋緊張亢進や拘縮を生じることが、縦断的研究から判明している¹³⁾。更に、連合反応も筋・腱・結合組織を短縮した位置に置き、拘縮を招く可能性が考えられるが、横断的研究では拘縮との関連は認められていない¹⁴⁾。また、巧緻性低下と二次障害との関連は、現時点では不明である(図1)。これまでリハビリテーションの臨床では、陽性徴候、陰性徴候と二次障害の全てを「運動麻痺」として¹⁵⁾、また、陽性徴候と二次障害を「痙性」や「筋緊張」として¹⁶⁾一くくりに捉える傾向があった。しかし図1にまとめた知見から、陽性徴候、陰性徴候そして二次障害の各要素を区別して評価、治療する必要性があると考えられる。

以上より、「拘縮を引き起こす因子には関節運動量の減少、麻痺側の筋力低下と痙縮があり、この3つを取り除くことで拘縮を予防できる可能性がある」と考えられる。

2. 拘縮予防・治療の具体的手段

発症から3ヶ月以内にリハビリテーションユニットへ転院した外傷性脳損傷、くも膜下出血患者のうち、Glasgow Coma Scale12点以下の105名について、足関節底屈拘縮の実態と治療経過が報告されている¹⁷⁾。この報告では、入院時に膝伸展位での足関節背屈が0°以下の底屈拘縮を来した患者は40名で、そのうち10名(底屈拘縮患者の25%)では起立台を用いた30分の持続伸張と、電気刺激を用いた足関節背屈筋と外返し筋の神経筋再教育による一般的な治療では、10°までの背屈が獲得できていない。そのため、足関節底屈筋群を伸張した位置でのギプス固定(serial plaster casting)やボツリヌス毒素の筋肉内注射による、患者に負担のかかる治療がやむをえず実施されている¹⁷⁾。このことは、拘縮は一度形成されると一般的なリハビリテーションでは治療が困難であり、予防が重要であることを示している。また、一度形成された屈曲性対麻痺については、膝装具を1日1~3時間、週5日、計6か月装着しても有意な改善が得られておらず¹⁸⁾、予防の重要性は一層高いと思われる。

予防にはまず関節運動量を増やすことが必要だが、ROM維持のためには発症後2週で130分、4週で350分の関節運動量が1日の日常生活とリハビリテーション治療で必要との報告もあり¹¹⁾、この運動量を達成するためにはPTとOTの徒手によるROM訓練だけでは不十分である。従って、徒手によるROM訓練に加えて、発症後できるだけ早期に離床を図り、訓練以外の日常生活における運動量

を増加すること、更に麻痺側下肢の筋力を回復させて下肢の自動運動を可能にすることが重要と考えられる。それが不可能な患者では、肩関節の可動域が1日30分×2回のポジショニングで維持されたという報告¹⁹⁾があることから、矯正を目的とした短下肢装具や長下肢装具の長時間装着が効果を発揮する可能性がある。

次に、治療的電気刺激(therapeutic electrical stimulation; TES)による麻痺側筋の筋力増強と痙縮の軽減が報告されているが、この筋力増強や痙縮軽減が拘縮を予防する可能性については十分証明されていない²⁰⁾。従って、ROM訓練、基本動作訓練、ADL訓練を中心にリハビリテーションを実施し、可能であれば電気刺激を併用するのが適切ではないだろうか。

更に動物実験により、1ヶ月以内の関節固定で生じる拘縮は、大部分が筋の変化によるものだが、それ以上固定期間が長くなると、関節構成体(靭帯、関節包、関節軟骨など)の影響が加わることが分かっている²¹⁾。従って一度拘縮を形成してしまった場合、その改善は時間の経過とともに困難になると考えられる。これに対し、段階的に固定角度を調節できる短下肢装具を1日23時間、14日間装着することによって、一度形成された足関節底屈拘縮が平均21°改善したという報告がある²²⁾。そこで、矯正を目的とした短下肢装具、長下肢装具やserial plaster castingなどの使用を、できるだけ早期に検討する必要があると考える。ただし、装具の長時間装着では疼痛、不快感や褥瘡の発生も報告されており²²⁾、その素材や構造については工夫が必要である。

ここまで考えてきた時期と重症度別の拘縮予防・治療手段を図2に示す。リハビリテーションの臨床では、温熱療法の使用も考慮すべきだが、その効果と適応については次に述べる。

3. 温熱療法の効果、適応についての検討

温熱療法は、片麻痺患者のリハビリテーションにおいて、疼痛の軽減、痙縮の軽減、そして組織の伸張性向上を期待して使用されることが多い。また、各種の温熱療法は、熱の到達する深さに応じて表在熱(赤外線、ホットパック、パラフィン浴、温浴)、深部熱(超短波、極超短波、超音波)に分類される。

ただ臨床における使用頻度は高いものの、各種の温熱療法について、効果の程度や適応が十分知られているとは言い難い。そこで次に、片麻痺患者の拘縮予防や改善の場面では、どのように温熱療法を使用すべきかを検討する。

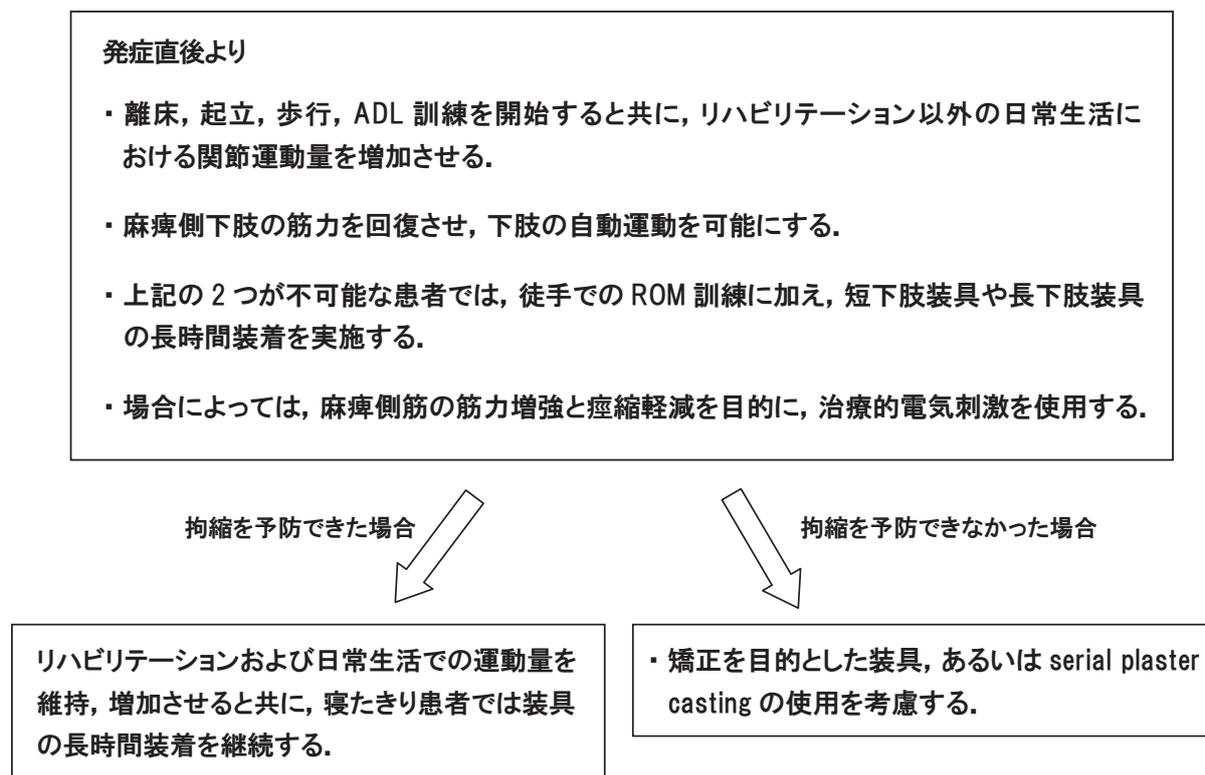


図2 拘縮予防・治療の具体的手段

i) 疼痛の軽減について

上腕へのホットパック, あるいは41℃の全身温浴を15分間処方すると共に, 2000, 250, 5Hzの3種の交流電流を加え, 被検者が感じ取れる最低の電流値を測定した報告がある²³⁾. この報告では, 各々の感覚神経(Aβ, Aδ, C線維)を興奮させる電流の周波数が異なるという性質を利用して, Aβ, Aδ, C線維を個別に刺激し, 被検者が感じ取れる最低の電流値を各線維の閾値とみなしている. その結果, 直接加温された部位では, 処方終了直後にAβ, Aδ, C線維の全てにおいて閾値が上昇し, 更にホットパックでは処方終了後15分でも閾値上昇は保たれた. 一方, 加温されなかった部位では, 閾値は変化しなかった. Aδ, C線維は疼痛刺激を伝達する神経であり, 疼痛を軽減するためには疼痛部位を直接加温することが有効であると考えられる²³⁾.

更に, ホットパックを片手に15分処方している間, および処方終了後, 腓骨神経への電気刺激で下肢に疼痛を与え, 両手における疼痛閾値を測定した報告がある²⁴⁾. 手掌には疼痛, 恐怖などの精神的な刺激に対して発汗を生じる汗腺が豊富にあり, 精神的刺激によって皮膚表面の電圧が変化する. そこでこの報告では, 腓骨神経に対する電気刺激の後, 手掌における電圧変化の大きさ(振幅)を疼痛閾値の指標として測定し, 振幅が小さいほ

ど感覚神経の閾値が高いとしている. 結果として, ホットパック処方後, 閾値はホットパックを処方した手に加えて反対側の手でも上昇し, この閾値上昇はホットパックを除去し, 皮膚温がホットパック処方前と同程度に回復した時点(処方終了後15分)でも持続した. この非加温部位における閾値上昇という現象は, gate control theoryでは説明できず, 鎮痛物質エンドルフィンの分泌量増加などが考えられている²⁴⁾.

また臨床研究でも, 神経根障害などの明確な原因を持たない, 発症から3ヶ月以内の腰痛患者において, heat wrap(約40℃の加熱を果たし, 装着したまま移動可能)を1日8時間, 計4日間使用することで, 軽度の疼痛軽減が達成されている²⁵⁾.

疼痛に対する温熱療法の効果と限界

- ・ ホットパックなどの局所的な表在熱でも, 感覚神経の閾値上昇やエンドルフィンの分泌量増加などが生じ, 疼痛が軽減する可能性がある.
- ・ 表在熱の鎮痛効果は, 温熱療法の処方部位以外にも及び, 処方終了後十数分にわたって効果が持続する可能性がある. ただし, この鎮痛効果は対症療法であり, 疼痛の原因が明らかな場合は, その原因に対する治療を優先すべきである.

ii) 痙縮の軽減について

痙縮(伸張反射の亢進)を軽減する手段の一つとして、教科書でも温熱療法が紹介されており、温熱刺激によって、筋紡錘に至るγ遠心性神経の興奮性が低下するためと説明されている²⁶⁾。

発症から5.9±4.8年の片麻痺患者を対象に、42℃で3分間の全身に対する高温浴、次いで3分半の上肢屈側に対する赤外線照射(300W, ランプから皮膚までの距離は50cm)を実施し、加温前から加温終了後2分までの上肢における筋放電を測定した報告がある²⁷⁾。結果として、麻痺側の上腕二頭筋と上腕三頭筋の筋放電は、加温前と比較して、高温浴と赤外線による加温中、加温後で有意に低下し、特に高温浴の上腕二頭筋に対する効果が大きいことが示されている(高温浴終了後2分で上腕二頭筋, 上腕三頭筋の筋放電は加温前の49.3%, 74.7%。一方、赤外線終了後2分で上腕二頭筋, 上腕三頭筋の筋放電は加温前の61.9%, 87.7%)²⁷⁾。つまり、温熱刺激によって安静時の筋活動は低下し、この低下には痙縮の軽減も含まれる可能性がある。

また、発症から22.1±8.0週の片麻痺患者を対象に、41℃で10分間の全身温浴を実施し、痙縮の指標として脛骨神経刺激後の母趾外転筋におけるF波の最大値(Fmax)と平均値(Fmean), そしてF波のM波に対する比(Fmax/M, Fmean/M)を測定した報告もある²⁸⁾。F波は運動神経への刺激が逆行性に伝達され、脊髄の運動神経細胞体を興奮させ、細胞体の再発射で生じる活動電位で、運動神経細胞の興奮性を反映すると考えられている。そして、温浴前と比較して、温浴実施直後、温浴終了から30分後でも全ての指標が有意に低下していたという結果が得られている²⁸⁾。

痙縮に対する温熱療法の効果と限界

- 痙縮は赤外線により数分、温浴により数十分軽減される可能性がある。
- 今後温熱療法を「運動麻痺」, 「筋緊張」, 「痙性」の改善を目的に処方, 研究する場合, 陽性徴候, 陰性徴候, 二次障害の, いずれの要素が対象なのか明確にする必要がある。

iii) 組織の伸張性向上について

表在熱, 深部熱の深部組織に対する加温効果については、近年報告が増えている。

①ホットパック

成人男性を対象として、ホットパックを一側の

大腿後面に、偽のホットパックを同じ被検者の反対側に処方し、深部ハムストリングスの温度と膝伸展ROMを測定した報告がある²⁹⁾。結果として、皮膚から深さ2.54cmのハムストリングスでは、開始から24分間で平均0.4℃しか上昇しなかった。更に、膝伸展ROMは、ホットパック処方後4分で、安静時より3.31°, 16分で0.6°拡大したが、偽のホットパックでも処方後4分で1.04°, 処方後16分で1.08°拡大し、ROM拡大の程度には有意差を認めなかった²⁹⁾。

②赤外線

成人を対象として、300Wの赤外線を皮膚から20cm離して10分間照射し、皮膚表面と皮下1cmでの温度変化を測定した際、照射終了直後の温度上昇は、皮膚表面で1.82±0.38℃, 皮下1cmで0.54±0.44℃であったと報告されている³⁰⁾。

③温浴

成人男性を対象として42℃の温浴を両下腿に30分間処方した報告では、他動運動に対する足関節背屈30°での抵抗は、温浴前と比較して温浴直後で6.7%の有意な低下が示されている。しかし、超音波で観察した腓腹筋繊維束, アキレス腱, 腱膜の伸張性には有意な改善が見られなかった³¹⁾。

④超短波, 超音波

成人を対象として超短波(27.12MHz), 超音波(1MHz, 1.5W/cm²)を下腿三頭筋に20分間照射し、5cmの間隔を置いた3点における、深さ3cmでの温度変化を測定した報告がある³²⁾。結果として、照射終了直後に超短波では+3~5℃, 超音波では-0.4~+0.17℃の温度変化を示した。更に、超短波では照射終了後約16分でも温度低下は2℃未満にとどまったのに対し、超音波では照射終了後15分で照射前の温度に戻った。そこで、超短波の方が超音波よりも大きな体積の組織を加温でき、照射終了後も深部組織の温度が低下しにくいと結論付けられている³²⁾。

⑤極超短波

動脈硬化や糖尿病による末梢循環障害のモデルとして、豚の肩と大腿のブロックに周波数2450±50MHzの極超短波を照射した報告がある³³⁾。この報告では、連続波4段階(50, 100, 150, 200W)とパルス波2段階(200W25%, 200W50%)を、皮膚-アンテナ間の距離10cmで10分間照射し、皮膚表面から皮下5cmまでの温度測定と、組織の形態学的変化の調査を実施している。結果として、皮膚表面, 皮下1cm, 皮下3cmでの平均温度上昇は、50Wの連続波で7.1±1.4, 3.3±1.0, 1.7±0.6℃, 150Wの連続波で22.9±3.8, 13.8±2.4, 4.5±1.0℃, 200W25

%のパルス波で 8.3 ± 1.2 , 5.3 ± 1.6 , $2.8 \pm 0.9^\circ\text{C}$ であった。一方、組織学的所見として、50Wの連続波でI度、100~200Wの連続波でII度の熱傷が認められたが、パルス波では熱傷が認められなかった。以上より、50Wの連続波でも熱傷を起こす可能性があり、パルス波の使用が望ましいとされている³³⁾。

以上より、深部組織の伸張性を向上させるためには、過剰な加温に注意を要するものの、深部熱が適していると考えられる。実際に、健常成人を対象として15分間の超短波照射、15分間のホットパック処方、温熱なしでの15分間の安静を実施後、足関節背屈のROM拡大幅を測定した報告がある(36時間の間隔を置いて3条件全てを実施し、ストレッチは実施していない)³⁴⁾。結果として、超短波照射後の拡大幅(照射前より $1.8 \pm 1.9^\circ$ 拡大)はホットパック処方後($0.7 \pm 1.5^\circ$)、安静後($-0.1 \pm 1.0^\circ$)の2つより有意に大きかった。一方、ホットパック処方後の拡大幅は温熱なしよりも大きかったが、有意な拡大ではなかったという結論が得られている³⁴⁾。

組織の伸張性向上を目的とした温熱療法の効果と限界、禁忌

- ・2cm以上の深さにある組織を加温して伸張性を向上させる場合には、ホットパック、赤外線では不十分で、深部熱が必要である。
- ・温浴の組織伸張性に対する効果は、ホットパック、赤外線よりは高いものの、深部熱よりは低いと思われる。
- ・大きな体積の加温を要する場合は超音波よりも超短波が適している。
- ・特に末梢循環障害の患者に極超短波を使用する場合、組織の熱傷を防ぐためにパルス波の使用が勧められる。

以上より「温熱療法単独で疼痛、痙縮、組織の伸張性を長期的に改善できるか否かは分かっていない。そのため温熱療法は、ROM訓練、基本動作訓練やADL訓練による関節運動中の疼痛と痙縮の軽減、そして組織の伸張性向上の促進を目的に併用する治療法である」という見解を私は持っている。

結論

下肢の拘縮は、脳卒中発症後に生じる多くのimpairmentの1つであるが、基本動作や日常生活活動を阻害すると共に、新たな疾患を引き起こす原

因ともなり得る。そして拘縮は一度形成されると通常のリハビリテーション技術では改善が困難となるため、発症後早期から予防的対策を採ることが重要である。予防のためには麻痺側下肢の筋力増強、痙縮軽減とともに、関節運動量の増加が必要であるが、リハビリテーションにおける徒手でのROM訓練のみでは関節運動量は不十分である。そこで、他職種と協力するなどして発症後早期からの離床やADL訓練を実施し、患者に関節運動量の多い日常生活を送って頂くことが必要である。また、温熱療法は単独で用いるよりも、疼痛の軽減、痙縮の軽減、組織の伸張性向上のいずれかを目的として運動療法と併用するべき治療法であると考えられる。

【文 献】

- 1) Jorgensen HS, Nakayama H, et al. : Recovery of walking function in stroke patients: The Copenhagen stroke study. Arch Phys Med Rehabil 76 : 27-32, 1995.
- 2) Indredavik B, Bakke F, et al. : Treatment in a combined acute and rehabilitation stroke unit: Which aspects are most important? . Stroke 30 : 917-923, 1999.
- 3) Shepherd RB, Koh HP : Some biomechanical consequences of varying foot placement in sit-to-stand in young women. Scand J Rehabil Med 28 : 79-88, 1996.
- 4) 吉元洋一：下肢のROMとADL. 理学療法学 15 : 247-250, 1988.
- 5) Waters RL, Mulroy S : The energy expenditure of normal and pathologic gait. Gait Posture 9 : 207-231, 1999.
- 6) Waters RL, Barnes G, et al. : Comparable energy expenditure after arthrodesis of the hip and ankle. J Bone Joint Surg 70A : 1032-1037, 1988.
- 7) Waters RL, Campbell J, et al. : Energy costs of walking in lower-extremity plaster casts. J Bone Joint Surg 64A : 896-899, 1982.
- 8) 稲垣俊明, 山本俊幸・他：屈曲性対麻痺と痴呆に関する研究. 日老医誌 31 : 129-134, 1994.
- 9) 山田道廣：第13章 褥瘡. 理学療法ハンドブック 改訂第3版第1巻, 細田多穂, 柳澤健(編), 協同医書, 2000, pp361-362.
- 10) 日高紀久江：在宅遷延性意識障害者の身体状況と介護状況. EB Nursing 3 : 130-135, 2003.
- 11) 小野武也, 伊橋光二・他：脳血管障害患者の麻痺側足関節における底背屈運動と可動域制限発

- 生との関係－発症1ヶ月以内の定量的検討－。理学療法学 30 : 288-295, 2003.
- 12) Carr JH, Shepherd RB : 脳卒中の運動療法エビデンスに基づく機能回復トレーニング。潮見泰藏, 齋藤昭彦(訳), 医学書院, 2004, pp171-183.
- 13) Ada L, O' Dwyer NJ, et al. : Relation between spasticity, weakness and contracture of the elbow flexors and upper limb activity after stroke: An observational study. *Disabil Rehabil* 28 : 891-897, 2006.
- 14) Ada L, O' Dwyer NJ : Do associated reactions in the upper limb after stroke contribute to contracture formation?. *Clin Rehabil* 15 : 186-194, 2001.
- 15) 安藤一也, 杉村公也 : リハビリテーションのための神経内科学。医歯薬出版, 1999, pp10-15.
- 16) 宮本省三 : リハビリテーション・ルネサンス心と脳と身体の回復 認知運動療法の挑戦。春秋社, 2006, pp36-38.
- 17) Singer BJ, Dunne JW, et al. : Non-surgical management of ankle contracture following acquired brain injury. *Disabil Rehabil* 26 : 335-345, 2004.
- 18) Steffen TM, Mollinger LA : Low-load, prolonged stretch in the treatment of knee flexion contractures in nursing home residents. *Phys Ther* 75 : 886-897, 1995.
- 19) Ada L, Goddard E, et al. : Thirty minutes of positioning reduces the development of shoulder external rotation contracture after stroke: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 86 : 230-234, 2005.
- 20) Van Peppen RPS, Kwakkel G, et al. : The impact of physical therapy on functional outcomes after stroke: what's the evidence?. *Clin Rehabil* 18 : 833-862, 2004.
- 21) 沖田実 : 3章 拘縮に関する基礎研究。拘縮の予防と治療。奈良勲, 浜村明德(編), 医学書院, 2003, pp37-48.
- 22) Grissom SP, Blanton S : Treatment of upper motoneuron plantarflexion contractures by using an adjustable ankle-foot orthosis. *Arch Phys Med Rehabil* 82 : 270-273, 2001.
- 23) 前田真治, 辻隆子・他 : 温熱療法における知覚神経線維の閾値の変化。日温気物医誌63 : 143-150, 2000.
- 24) Yagiz On A, Colakoglu Z, et al. : Local heat effect on sympathetic skin responses after pain of electrical stimulus. *Arch Phys Med Rehabil* 78 : 1196-1199, 1997.
- 25) French SD, Cameron M, et al. : A Cochrane review of superficial heat or cold for low back pain. *Spine* 31 : 998-1006, 2006.
- 26) 木村貞治 : 第42章 温熱療法。理学療法ハンドブック改訂第3版第2巻。細田多穂, 柳澤健(編), 協同医書, 2000, pp657-687.
- 27) 泉従道, 藤田勉・他 : 脳血管障害片麻痺患者の患側上肢の筋緊張亢進に対する高温浴と赤外線照射の効果－表面筋電図による解析－。日温気物医誌60 : 209-220, 1997.
- 28) Matsumoto S, Kawahira K, et al. : Short-term effects of thermotherapy for spasticity on tibial nerve F-waves in post-stroke patients. *Int J Biometeorol* 50 : 243-250, 2006.
- 29) Sawyer PC, Uhl TL, et al. : Effects of moist heat on hamstring flexibility and muscle temperature. *J Strength Cond Res* 17 : 285-290, 2003.
- 30) 吉田次男, 松澤正 : 磁力線温熱刺激が皮膚深部温に及ぼす影響について－赤外線, マイクロ波刺激との比較－。日温気物医誌61 : 127-134, 1998.
- 31) 久保啓太郎, 金久博昭・他 : 冷却, 温熱およびマッサージ刺激が筋・腱の力学的特性に及ぼす影響。デサントスポーツ科学 25 : 33-41, 2004.
- 32) Garrett CL, Draper DO, et al. : Heat distribution in the lower leg from pulsed short-wave diathermy and ultrasound treatments. *J Athl Train* 35 : 50-55, 2000.
- 33) 青木幹昌, Goh Ah Cheng・他 : マイクロ波照射における熱傷のリスクについて－擬似生体モデルによる組織観察－。日本物理療法学会誌9 : 11-15, 2002.
- 34) Robertson VJ, Ward AR, et al. : The effect of heat on tissue extensibility : A comparison of deep and superficial heating. *Arch Phys Med Rehabil* 86 : 819-825, 2005.