

石川県理学療法学雑誌

第23巻 第1号 2024年

症例報告

高橋 郁文・他

ペースメーカー留置後、レートレスポンスセンサーの設定変更により
6分間歩行距離が増加した一症例

原著

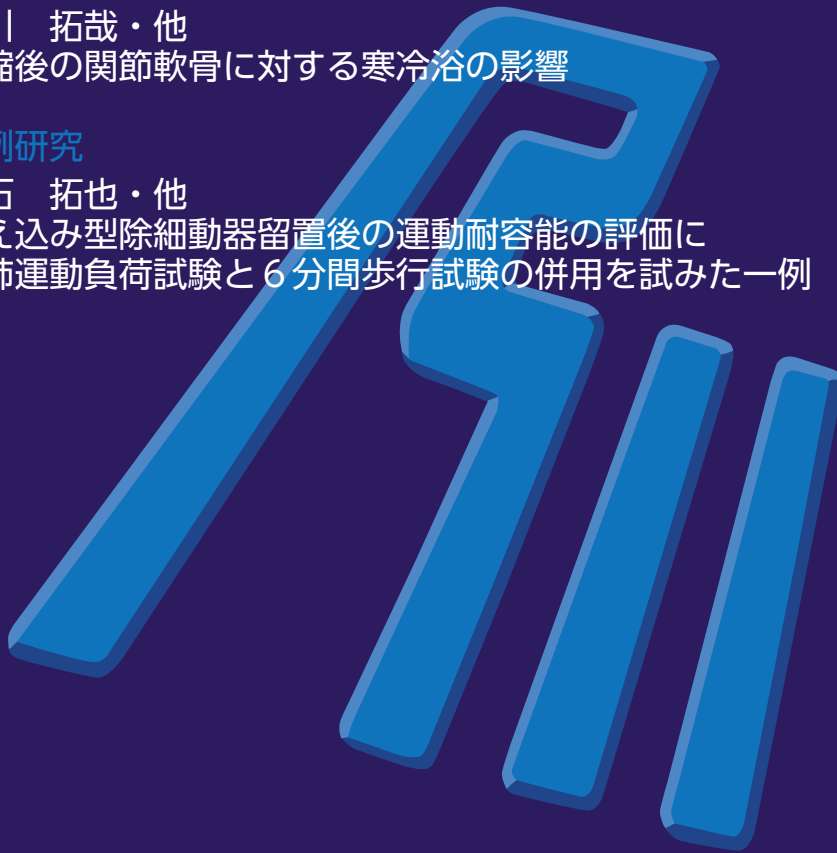
中川 拓哉・他

拘縮後の関節軟骨に対する寒冷浴の影響

症例研究

仙石 拓也・他

植え込み型除細動器留置後の運動耐容能の評価に
心肺運動負荷試験と6分間歩行試験の併用を試みた一例



症例報告

ペースメーカー留置後，レートレスポンスセンサーの設定変更により 6分間歩行距離が増加した一症例

高橋 郁文¹⁾ 仙石 拓也¹⁾ 高田 勇¹⁾ 坂口 唯李¹⁾ 吉田 信也¹⁾
櫻井 吾郎¹⁾ 下島 正也²⁾ 蓬田 裕美子²⁾ 武田 裕子²⁾ 薄井 莊一郎²⁾
高村 雅之²⁾ 八幡 徹太郎³⁾

要旨

【症例・経過】

70代女性。心房細動に対する治療のためにX日に入院した。失神発作のため、X+11日に体内式ペースメーカー（設定：DDD，70bpm，体動センサー）が留置された。その後、退院前評価としてX+19日に6分間歩行試験を実施した。しかし、試験開始5分後、歩行距離180m時点で胸部症状を訴えたため中止すると、心拍数は70bpmと安静時より増加していなかった。

【介入と結果】

その状況を主治医および臨床工学技士へ報告し、レートレスポンスセンサーの設定が変更された。翌日6分間歩行試験を再検した結果、歩行による心拍数の増加（82bpmから121bpm）を確認した。歩行距離は260mと増加し、X+22日に自宅退院された。

【結論】

ペースメーカー留置後は、運動耐容能を評価するとともに運動時の心拍応答を確認することの重要性が示唆された。

キーワード 6分間歩行試験，ペースメーカー，レートレスポンスセンサー

I. はじめに

ペースメーカーは高度房室ブロックや洞不全症候群、徐脈性心房細動などに対して植込まれる¹⁾。ペースメーカーには、運動時の心拍応答（レートレスポンス）に対する心拍調整機能が備えられており¹⁾、ペースメーカーのレートレスポンスセンサーの設定を適切に調整することで、運動耐容能が改善することが報告されている²⁾。

レートレスポンスセンサーは、非生理的センサーと生理的センサーに大別される³⁾。そのそれぞれの代表例が身体の移動に伴う加速度などによって心拍数を調整する非生理学的センサーと心内インピーダンスなどによって心拍数を調整する生理学的センサーである³⁾。そのため、

ペースメーカー植え込み患者では、運動耐容能を改善するために、運動療法と併せて、ペースメーカー設定に留意する必要がある。

ペースメーカーの運動時における心拍応答を適切に設定する方法として、バイクエルゴメータやトレッドミルを使用した心肺運動負荷試験がある^{4,5)}。しかし、その一方で、使用されるレートレスポンスセンサーと運動様式の組み合わせによって、心拍応答が不十分になる可能性が指摘されている。そのため、運動時におけるレートレスポンスを設定するための方法は統一されていない。したがって、個々の症例によってペースメーカーおよびレートレスポンスセンサーの種類と設定に配慮した運動負荷試験を行い、運動中の心拍応答を確認する必要がある。また、運動負荷試験中の心拍応答によっては、その設定を再調整する必要があると考えられる。

今回我々は、徐脈性心房細動に対してペースメーカーが植え込まれた症例に対して退院前に6分間歩行試験を行ったが、運動に伴う適切な心拍応答が得られなかった。そこで、循環器内科医および臨床工学技士と連携し、レートレスポンスセンサーの再設定を行った後、再度6分間歩

1) 金沢大学附属病院 リハビリテーション部
(〒920-8641 石川県金沢市宝町13-1 076-265-2013)

2) 金沢大学附属病院 循環器内科
(〒920-8641 石川県金沢市宝町13-1)

3) 金沢大学附属病院 リハビリテーション科
(〒920-8641 石川県金沢市宝町13-1)

責任著者連絡先：t_ikuhumi@med.kanazawa-u.ac.jp
(投稿日：2022年12月27日 受理日：2023年3月7日)

行試験を行った。先行研究では、エルゴメータやトレッドミルを使用した心肺運動負荷試験によってペースメーカーの設定を行った症例報告が散見される。しかしながら、6分間歩行試験は運動耐容性を評価するうえで簡便な検査であり、実施も容易であるものの、運動に伴う心拍応答を確認した報告はこれまでにない。その結果、運動に伴う心拍数の増加と歩行距離の増加を確認することができたため、その経過を報告する。

Ⅱ. 症例情報

【症例紹介】

本症例は、胸部不快感を伴う徐脈性心房細動によって慢性心不全が増悪した70代女性である。主訴は労作時の胸部絞扼感であり、患者の要望は、胸が楽に生活したいであった。

入院前は、独居であり、日常生活動作は自立していた。冬季の期間のみ、長女宅へ同居していた。喫煙および飲酒はなく、内服の自己管理は可能であった。家庭菜園をご自身のペースでゆっくりと行っていた。

【診断名】

#1. 持続性心房細動, #2. 閉塞性肥大型心筋症, #3. 慢性心不全, #4. 非持続性心室頻拍, #5. 虚血性心筋症 (#13: 75-90%) #6. 脂質異常症, #7. 甲状腺機能低下症, #8. 腎機能障害, #9. 睡眠時無呼吸症候群

【現病歴(入院日をX年Y月Z日とする)】

以前より健康診断にて心拡大および心電図異常を指摘されていたが、自覚症状なく経過していた。X-14年頃より坂道歩行などで前胸部の圧迫感を自覚するようになり、X-11年には胸部症状に加えて息切れが出現するようになった。同年に当院入院し、精査および加療の結果、閉塞性肥大型心筋症と診断され、メトプロロールおよびシベンゾリンが導入された。X-1年頃から、再び動悸と呼吸苦を自覚するようになり、徐々に動悸発作の頻度が増加したが、短時間で改善するため経過観察となっていた。X-1年Y-5月、強い動悸症状に加えて嘔気および胸痛が出現したため、当院を予約外受診された。検査の結果、発作性心房細動を診断され、アブレーションの適応であったが、ご本人の希望によりアミオダロンの内服によって経過観察となった。

X年Y-1月、感冒をきっかけに動悸が出現した。外来受診において、心房細動の持続とBNP高値のため、心房細動の持続による心不全増悪状態と考えられたため、X年Y月Z日に当院入院となった。Z+4日に、直流除細動が3回実施されたが心房細動は停止しなかった。そのため、同日にアミオダロンが増量され、Z+5日にベラパミルが開始された。Z+6日に理学療法が処方された。

なお、ヘルシンキ宣言に基づき、本症例に対して本報

告の趣旨を十分に説明し口頭上の同意を得た。

【入院時医学的情報】

・重症度：NYHAⅢ
 ・既往歴
 不整脈の指摘(40歳代) 子宮筋腫術後(50歳代) 腰椎ヘルニア術後(50歳代)
 ・内服薬
 パリエット(プロトンポンプ阻害剤) ロスバスタチン(HMG-CoA還元酵素阻害剤) チラージン(甲状腺ホルモン製剤) アミオダロン(不整脈治療剤) シベンゾリン(不整脈治療剤) エリキユース(経口FXa阻害剤) ベラパミル(Ca拮抗性不整脈治療剤) メトプロロール(高血圧・狭心症・不整脈治療剤)

【入院時検査情報】

・心電図
 心房細動
 ・胸部レントゲン
 CTR：69.6% 両側胸水貯留
 ・血液検査
 Hb：11.1g/dl CRP：0.05mg/dl PT-INR：1.19 FDP-DD：0.4μg/ml Cr：1.22mg/dl
 K：4.0mEq/l GFR：33.15ml/min BNP：2672pg/ml
 ・経胸壁心エコー
 心房細動 徐脈 左室収縮能低下 左室内腔の狭小化 左室の全周性の肥厚
 下大静脈径は正常範囲内

Ⅲ. 評価と経過

【理学療法初期評価(Z+6日)】

病室内ADLおよび棟内歩行は独歩にて自立していたが、棟内歩行は息切れのため頻回に休憩が必要であった。主治医より、リハビリ室での運動が許可され、胸部症状に応じて運動負荷を調整するよう指示があった。安静時血圧は101/57mmHg、心拍数は40~60拍/分(心房細動)であった。車いす介助にて出療し、リカンベント式エルゴメータを10wattで実施してみたところ、血圧は明らかな変動を認めず、心拍数は60~80拍/分(心房細動)まで増加した。しかしながら、運動に伴い胸部症状が出現するため、エルゴメータトレーニングでは約1分ごとに休憩が必要であった。

以上より、入院中の活動量の低下に伴う廃用症候群およびフレイル進行を予防するため、頻回にバイタルサインを測定し、心電図および胸部症状を確認しながら可能な範囲で軽負荷のレジスタンストレーニングおよび有酸素トレーニングを実施する方針とした。

【理学療法開始後の経過】

Z+7日、病棟で2度の失神を伴う徐脈を認めたため、緊急で体外式ペースメーカーを挿入され、理学療法は一時中止となった。その後循環状態が安定したため、Z+11日に体内式ペースメーカー（DDD、70bpm、非生理学的センサー）が埋め込まれた。Z+13日に理学療法が再開となり、棟内歩行が自立したため、Z+14日に治療を再開した。Z+19日には、術後ペースメーカーチェックにて問題なかったため、集団での心臓リハビリテーションへ参加した。

経過が良好であったため、Z+20日に退院前評価として握力とShort Physical Performance Battery（以下SPPB）、1回目の6分間歩行試験を実施した（詳細はIV. 介入と結果を参照）。握力は21kg、SPPBでは、静的バランスが3点（タンデム3.1秒）、4m歩行が3点（4.7秒）、起立テストが2点（15.2秒）であった。Z+21日に2回目の6分間歩行試験を実施し（詳細はIV. 介入と結果を参照）、Z+22日に自宅退院された。

IV. 介入と結果

【1回目の6分間歩行試験（Z+20日）】

標準的な検査説明を実施した後に、試験を開始した。開始2分後より胸部症状の出現に伴い休憩が必要であり、開始4分30秒後には膝に手をつき前傾姿勢となった。胸部症状が改善しないため、開始後5分、歩行距離180mとして検査を中止とした。心拍数を確認すると70拍/分であり、歩行に伴う心拍数の増加を認めなかった。なお、SpO₂は98%、修正ボルグスケールは胸部5、下肢4であった。休憩にて自覚症状が改善したため、車椅子にて帰室した。

【対応】

6分間歩行試験の結果を、まず臨床工学技士へ報告した。歩行速度が遅い場合、心拍応答を調節する体動センサーの設定閾値を超えず、心拍数が増加しなかった可能性があるとの見解であった。そのため、レートレスポンスセンサーの設定を主治医へ相談後、再設定することとなった。

次に、同内容を循環器内科主治医へ報告した。胸部症状が出現した原因は、①末梢酸素需要に対して心拍数増加が得られなかったことによる低拍出症候群、もしくは②運動による心筋収縮の増加に伴い、流出路狭窄が強まった、のいずれかである可能性があるとの見解であった。

主治医と臨床工学技士との相談後、レートレスポンスセンサーが非生理学的センサーから生理学的センサー（Closed Loop Stimulation）へと変更された。

【2回目の6分間歩行試験（Z+21日）】

簡易的な検査説明後、検査を開始した。検査開始前の血

圧は132/93mmHg、心拍数は82拍/分であった。検査開始後、胸部症状により休憩することなく、検査を完遂した。歩行距離は260mであり、検査後の血圧は114/84mmHg、心拍数は121拍/分、SpO₂は98%、修正ボルグスケールは胸部4、下肢5であった。

V. 考 察

本症例では、レートレスポンスセンサーの再設定によって6分間歩行距離が増加した。先行研究では、心拍応答の設定調節による運動耐容能改善に関しては一定の結論が得られていないものの、適切な調整を行うことで運動耐容能が改善した報告が散見される^{1,2,4,6}。本症例においては、レートレスポンスセンサーの変更により、6分間歩行試験における歩行距離が180mから260mへ80m増加した。心不全症例における有意な変化量の推奨値は50mとされていることから⁷、本症例における歩行距離の増加は有意であったと考える。さらに、先行研究では6分間歩行距離が200m以下では生活範囲が身の回りに限定されること⁸や、240m以下では予後不良であること⁹が報告されている。したがって、ADLや予後の観点からもレートレスポンスセンサーの変更による6分間歩行距離の増加は有益であったと考える。

また、本症例ではレートレスポンスセンサーの再設定後、6分間歩行試験での心拍数は82拍/分から121拍/分へと増加した。一般的に、運動により筋組織の酸素需要が増大するため、心拍出量を増やす必要がある³。運動に伴い、1回拍出量は運動開始から中等度負荷まで、心拍数は運動開始から最大負荷まで増加することで心拍出量を増やしている¹⁰。本症例は、閉塞性肥大型心筋症を罹患しており、代表的な病態として1回拍出量の低下が挙げられる¹¹。本症例は入院中に心臓カテーテル検査が実施されていないため、詳細な拍出量は不明ではあるが、経胸壁心臓エコー検査において、左室流出路狭窄が指摘されていることから1回拍出量が低下している可能性が高い。したがって、運動に伴う心拍出量の増加に対して心拍数増加が担う役割は大きかったと推測する。

上述したように、レートレスポンス機能がついたペースメーカー患者では、運動に伴ってペーシングレートが上昇する³。現在、ペースメーカーに搭載されているレートレスポンス機能のセンサーには、大きく分けると、物理学的変化を感知する非生理学的センサーと運動に伴う生体情報を感知する生理学的センサーがある³。非生理学的センサーは反応が速いことが特徴であるが、振動が少ない運動（エルゴメーターなど）では反応が鈍く、階段昇降などでも下りよりも上りのほうが反応しにくいと報告されている^{1,3}。実際に当院でもエルゴメータ実施中に心拍数が増加しない例を複数経験している。その一方、生理学的センサーでは、様々な種類があり、その種類によっては、運動開始時の反応が遅いことや運動終了後に心拍

数が増加することなどのデメリットもある³⁾。本症例では、病態やセンサーの特徴、運動耐容能など複数の要因が考えられるものの、生理学的センサーによって良好なレートレスポンスを得られ、その結果、即時的に6分間歩行距離の増加という運動耐容能の改善につながったと考えられる。

今回、我々はペースメーカ症例に対して、退院前に6分間歩行試験を行うことでレートレスポンスセンサーの至適設定を検討することができた。このように、症例ごとにペースメーカおよびレートレスポンスセンサーの種類と設定に配慮した運動負荷試験を行い、運動中の心拍応答を確認することが重要であると考えられた。

VI. 結 論

今回、我々はペースメーカ留置後、レートレスポンスセンサーの設定変更により6分間歩行距離が増加した症例を経験した。退院前の6分間歩行試験において、運動中の心拍応答不全を認めため、主治医および臨床工学技士へ報告し、レートレスポンスセンサーの設定を変更した。再度、6分間歩行試験を行った結果、歩行による心拍数の増加と歩行距離の延長を確認でき、自宅退院となった。以上のことから、ペースメーカ留置後は、運動耐容能を評価するとともに運動時の心拍応答を確認することの重要性が示唆された。

利益相反

・本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

文 献

- 1) 白石裕一: デバイス植え込み患者における心臓リハビリテーション治療. メディカルリハビリテーション. 2021; 262: 35-41.
- 2) Greco EM, Guardini S, Citelli L. Cardiac rehabilitation in patients with rate responsive pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol.* 1998; 21 (3): 568-575.
- 3) 三橋武司: 心臓ペースメーカーのレートレスポンス設定と心臓リハビリテーション. *The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine.* 2019; 56: 984-989.
- 4) 中屋雄太, 赤松正教, 他: 恒久的ペースメーカーの感度調整を行うことで、自転車エルゴメータでの心肺運動負荷試験で運動処方が行えた一例. *理学療法学.* 2018; 45 (3): 190-196.
- 5) 牛之浜さやか, 井手友美, 他: ペースメーカ設定と心臓リハビリテーション評価にCPXが極めて有用であった1例. *心臓リハビリテーション.* 2008; 13 (1): 131-134.
- 6) 小笹寧子: CRTD・ペースメーカ患者の運動耐容能と至適ペースメーカプログラム. *心臓リハビリテーション.* 2009; 14 (1): 65-68.
- 7) 田中伸弥: 心血管理学療法に必要な臨床指標とその意義. *理学療法学.* 2017; 44 (3): 92-94.
- 8) 千住秀明, 平山ふみ: 呼吸器疾患患者の体力特性とその測定方法. *理学療法学.* 2005; 22: 226-232.
- 9) Ingle L, Rigby AS, et al. Prognostic value of the 6 min walk test and self-perceived symptom severity in older patients with chronic heart failure. *Eur Heart J.* 2007; 28 (5): 560-568.
- 10) 高橋真, 関川清一, 他: 運動時の循環調節: 基礎研究から臨床への展開. *理学療法の臨床と研究.* 2017; 26: 23-30.
- 11) 筒井裕之, 北岡裕章: 心筋症診療ガイドライン (2018年改訂版). https://www.j-circ.or.jp/cms/wp-content/uploads/2018/08/JCS2018_tsutsui_kitaoka.pdf (2022年11月15日引用)

原 著

拘縮後の関節軟骨に対する寒冷浴の影響

中川 拓哉¹⁾ 小島 聖²⁾ 二谷 彩³⁾

要旨

【目的】 ラット膝関節拘縮モデルに対して寒冷浴を実施し、関節軟骨に及ぼす寒冷刺激の効果について、組織学的手法を用いて検討することを目的とした。【方法】 8週齢のWistar系雄ラットの右膝関節を4週間ギプス固定し拘縮を惹起させた。固定終了後、寒冷浴を実施する寒冷群と自由飼育を行う非寒冷群に分けた。寒冷群は膝関節に対し寒冷浴（水温約4℃、30分間/回）を1日1回の頻度で2週間および4週間実施し、非寒冷群は寒冷浴と同期間の自由飼育を行った。介入期間終了後、関節軟骨の組織学的変化について検討した。【結果】 非寒冷群ではサフラニン染色の染色性低下が認められ、その程度は経時的に増悪した。しかし、寒冷群は非寒冷群よりもサフラニンの染色性が維持されており、その所見は非寒冷群よりも軽微であった。【結論】 寒冷刺激は関節拘縮後の関節軟骨における器質的变化を予防する可能性があり、関節拘縮に対する治療法への応用が期待できると考えられる。

キーワード ラット、関節軟骨、寒冷浴

I. はじめに

関節可動域制限の原因は皮膚や骨格筋、腱、靭帯、関節包などといった関節周囲に存在する軟部組織に由来する場合と、関節軟骨や骨といった関節構成体そのものに由来する場合がある。現在、軟部組織に由来した関節可動域制限を拘縮と定義され、骨や関節軟骨自体が原因で生じた関節可動域制限を強直と定義されている¹⁾。本来は拘縮と強直は区別されているが、臨床的には関節周囲の軟部組織と骨や関節軟骨の変化が混在している場合が多く、拘縮と強直を厳密に区別することは困難である。本研究においては関節可動域制限の責任病巣に関わらず、他動関節可動域が低下した状態を拘縮として呼称することとした。

関節軟骨の傷害は拘縮の病態に大きく関与していると考えられる²⁻⁶⁾が、関節軟骨は治療対象とはされていない。関節軟骨の重要な役割である荷重緩衝作用と関節液との相互作用により、関節の摩擦係数を低下させ円滑な関節運動を可能としている。軟骨基質の減少により、関節へ

の力学的ストレスが増大すると、変形性関節症の進行や関節炎や痛みなどの二次的障害へ発展する可能性があり、関節軟骨の菲薄化を防ぐことは臨床的にも重要である。

拘縮による関節軟骨の器質的变化は、直接的な理学療法介入ができないことが多いが、寒冷刺激による関節軟骨の変性を予防できる可能性を示した基礎的研究がある。小島ら³⁾は、膝関節の拘縮を惹起させたラットを対象に2週間の寒冷浴を行った結果、寒冷刺激が関節軟骨の菲薄化を抑制する可能性があるとして報告している。しかし、拘縮後の関節軟骨に対する寒冷刺激の効果を検討した報告は他に見当たらず、寒冷刺激が関節軟骨に及ぼす影響の詳細は未だ明らかとされていない。

そこで、本研究ではラット膝関節拘縮モデルに対して寒冷浴を実施し、その効果について組織学的に検討することを目的として実験を行った。

II. 対象および方法

対象は8週齢のWistar系雄ラット36匹（198g~227g）を用い、無作為に実験群（n=30）と対照群（n=6）に分け、実験群は4週間のギプス固定により拘縮を作製した。

拘縮の作製は吸入麻酔（イソフルラン：株式会社インターベット）下にて、先行研究⁷⁾に準じて行った。ペルフォーム（UG-3424:OG 技研）で作製した自家製ジャケットを着用させ、ギプスによる擦傷を予防するため、右後肢全体をガーゼで覆った。その後、股関節最大伸展位、膝関節最大屈曲位、足関節最大底屈位の状態で骨盤帯から足関節遠位部までギプスで固定した。固定肢の足関節

1) 公立宇出津総合病院 リハビリテーション室
（〒927-0495 石川県鳳珠郡能登町宇出津字宇出津97番地
0768-62-1311）
2) 金城大学大学院 総合リハビリテーション学研究所
（〒924-8511 石川県白山市笠間町1200番地）
3) 介護老人保健施設 田中町温泉ケア・センター
（〒920-0007 石川県金沢市田中町は16番地）
責任著者連絡先：kslcvbmk@gmail.com
（投稿日：2023年3月23日 受理日：2023年6月27日）

遠位部から足趾までは浮腫の有無を確認するために露出させ、この状態でうっ血のないことを確認した。また、同肢の膝関節周囲は、固定期間中の骨成長を阻害させないように露出させた。左後肢は自由とし、両前肢と左後肢でケージ内を自由に移動し、水、餌は十分に摂取可能であることを確認した。固定肢足部に浮腫を認めた場合は、吸入麻酔下で直ちにギプスの巻き替えを行い浮腫の防止に努めた。また、ギプス外れや緩みなどを認めた場合は、速やかにギプスを巻き替えて可能な限り適切な固定を維持した。固定期間は先行研究⁷⁾を参考に4週間とした。対照群はギプス固定を行わず自由飼育を行った。

固定期間終了直後、無作為に6匹を選定しイソフルランの深麻酔下で放血し、4%パラホルムアルデヒド水溶液で10分間の灌流固定を行い、固定後0W群 (n=6) として膝関節を採取した。残りの24匹を、2週間の寒冷浴を行う寒冷2W群 (n=6)、4週間の寒冷浴を行う寒冷4W群 (n=6)、2週間の自由飼育を行う非寒冷2W群 (n=6)、4週間の自由飼育を行う非寒冷4W群 (n=6) に分けた。対照群はそれぞれの群の飼育期間に対応するように、対照0W群 (n=2)、対照2W群 (n=2)、対照4W群 (n=2) に分けた。

寒冷浴は先行研究^{3,8)}を参考に、ギプス固定解除後、吸入麻酔下にて、約4°Cの水に膝関節全体が常に入水している状態を保持し、30分間の寒冷浴を1日1回の頻度で2週間または4週間実施した。また、凍傷を防止するために寒冷浴実施中は皮膚を観察した。寒冷浴後、体表の水分を拭き取り飼育ケージに戻し、麻酔が覚めて動き出したことを確認した。

飼育期間終了後、すべてのラットは同様の手法で灌流固定後、左右の後肢を股関節で離断した。離断した後肢は4%パラホルムアルデヒドで72時間浸漬固定し、100%アルコールで3時間程度脱脂、脱灰液(脱灰液B (EDTA処方)：和光純薬株式会社)にて35°Cで約60日間脱灰した。脱灰後、膝関節を切り出し、矢状面にて切断した。常法によりパラフィン包埋し、滑走式マイクローム (TU-213：大和光機工業株式会社)にて厚さ約3μmで薄切した。組織切片はスライドガラスに添付後乾燥させ、ヘマトキシリン・エオジン染色、サフラニンO-ファストグリーン染色 (以下S-O染色) を行い、疎水性封入剤 (エンテランニュー：Merck Millipore社) で封入した。

組織標本は顕微鏡デジタルカメラ (DP26, OLYMPUS社製) を接続した光学顕微鏡 (BX53, OLYMPUS社製) 下にて鏡検した。関節軟骨の観察は、Nomuraら⁹⁾の方法に準じて大腿骨と脛骨をそれぞれ接触部、移行部、非接触部に分け、各領域における関節軟骨厚を計測した (図1)。関節軟骨厚の計測範囲は先行研究⁹⁾を参考にし、倍率200倍で観察した各領域の幅200μmとした。本研究においては軟骨表面からタイドマークまでの非石灰化層を関節軟骨厚とし、ImageJ (ver.1.53a) のPolygon selectionsにて目視で対象の形に沿って線を引き、計測した関節軟骨面積

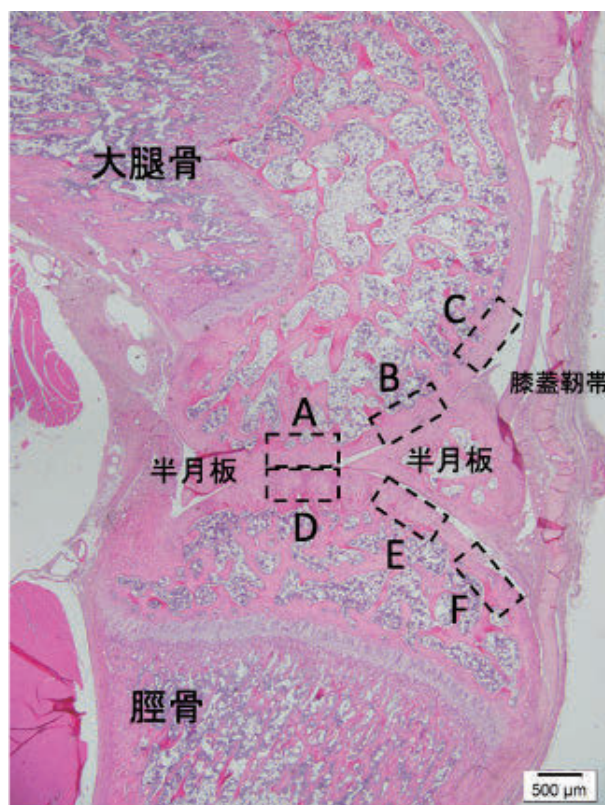


図1 大腿骨と脛骨の観察部位
A. 大腿骨接触部 B. 大腿骨移行部 C. 大腿骨非接触部
D. 脛骨接触部 E. 脛骨移行部 F. 脛骨非接触部

を200μmで除して厚さを算出した。また、計測は盲検下にて同一検者が行った。

各実験群における関節軟骨厚の比較は統計ソフトR(ver.4.2.2)を用い、接触部、移行部、非接触部について、Tukey-Kramerの多重比較検定を行った。有意水準は5%とした。

なお、本研究は金城大学の動物実験委員会の承認を得て行った (承認番号 第0010号)。

表1 大腿骨の各領域における軟骨厚

	接触部	移行部	非接触部
固定後0W群	63.829 ± 16.724	68.614 ± 10.645	76.972 ± 15.947
非寒冷2W群	62.196 ± 9.463	58.501 ± 7.270	74.109 ± 13.440
寒冷2W群	78.287 ± 20.126	65.600 ± 5.110	76.012 ± 12.197
非寒冷4W群	48.657 ± 17.474	57.459 ± 14.724	61.749 ± 14.718
寒冷4W群	62.200 ± 12.469	63.964 ± 10.758	67.878 ± 10.207

平均値±標準偏差, 単位: μm

表2 脛骨の各領域における軟骨厚

	接触部	移行部	非接触部
固定後0W群	127.355 ± 34.271	120.731 ± 35.294	64.333 ± 6.832
非寒冷2W群	129.340 ± 31.118	125.008 ± 19.962	66.535 ± 18.878
寒冷2W群	150.051 ± 29.539	122.765 ± 13.457	51.304 ± 8.321
非寒冷4W群	124.557 ± 19.949	92.474 ± 14.836	35.572 ± 14.230**
寒冷4W群	141.686 ± 15.943	105.374 ± 14.860	53.913 ± 19.558

平均値±標準偏差, 単位: μm

*: 固定後0W群と有意差あり Tukey-Kramer検定 (p=0.016)
**: 非寒冷2W群と有意差あり Tukey-Kramer検定 (p=0.013)

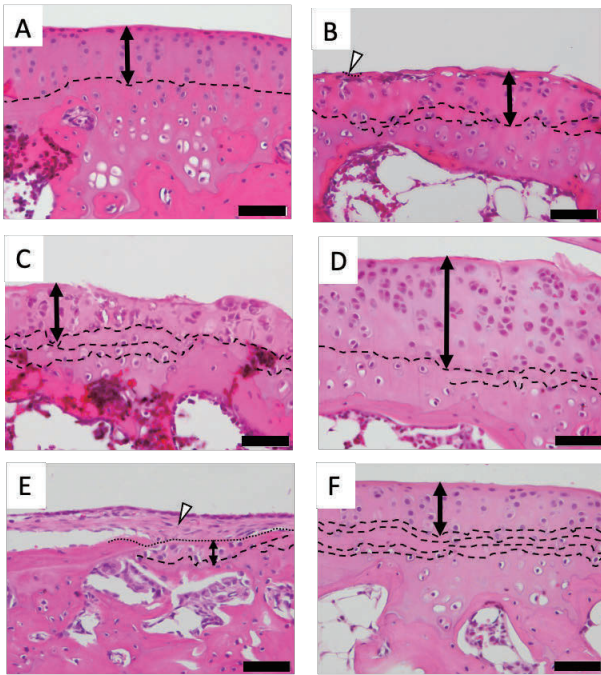


図2 大腿骨接触部の関節軟骨

- A. 対照0W群：関節軟骨厚は正常である。
 B. 固定後0W群：関節軟骨厚の減少をやや認める。
 C. 非寒冷2W群：関節軟骨厚の減少は進行している。
 D. 寒冷2W群：関節軟骨厚は保たれている。
 E. 非寒冷4W群：関節軟骨厚の著しい減少がみられる。
 F. 寒冷4W群：関節軟骨厚は保たれている。
 両矢印：関節軟骨厚を示す。
 白矢印：線維増生を示す。
 点線：線維組織と関節軟骨との境界を示す。
 破線：タイドマークを示す。
 スケールバー：50 μ m

Ⅲ. 結 果

1. 関節軟骨厚

脛骨非接触部において、固定後0W群と非寒冷4W群、非寒冷2W群と非寒冷4W群との間に有意差が認められ、ギプス固定解除後の自由飼育により経時的な関節軟骨厚の減少が生じていた。一方で、寒冷2W群と寒冷4W群との間に有意差は認められず、関節軟骨厚は保たれていた。また、大腿骨のすべての領域および脛骨の接触部、移行部ではすべての群において有意差はみられなかった(表1, 2, 図2)。

2. S-O染色による基質染色性の検討

大腿骨のすべての領域および脛骨の接触部と非接触部において、対照0W群の関節軟骨は、S-O染色の染色性は維持されていた。固定後0W群、非寒冷2W群、非寒冷4W群では染色性低下が認められた。一方、寒冷2W群では、非寒冷2W群と比べて染色性は保たれていた。寒冷4W群では、非寒冷4W群と比べて染色性は保たれていた。脛骨の移行部では、寒冷2W群では、非寒冷2W群と類似した染色性が認められたが、寒冷4W群では、非寒冷4W群と比べて染色性は保たれていた(図3, 4)。

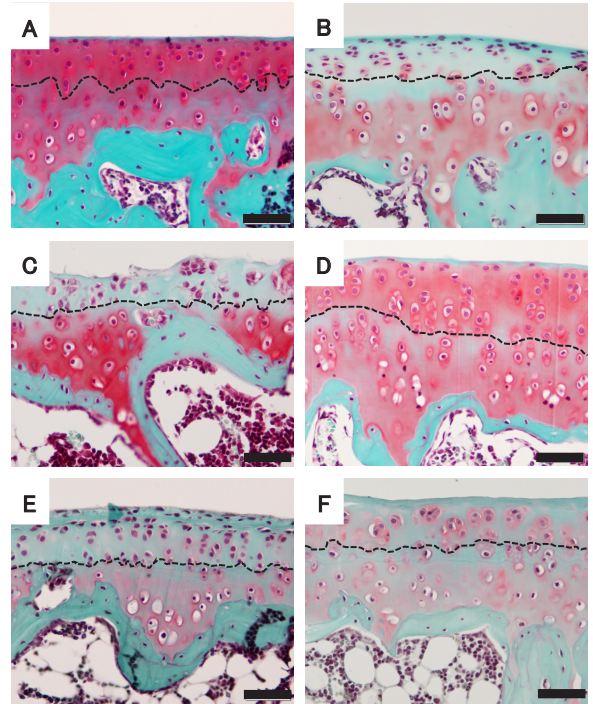


図3 大腿骨接触部の関節軟骨

- A. 対照0W群：非石灰化層の染色性は保たれている。
 B. 固定後0W群：非石灰化層の染色性の低下を認める。
 C. 非寒冷2W群：非石灰化層の染色性は固定後0W群と類似している。
 D. 寒冷2W群：非石灰化層染色性は保たれている。
 E. 非寒冷4W群：非石灰化層の染色性は低下している。
 F. 寒冷4W群：軟骨細胞周囲の染色性は保たれている。
 破線：タイドマークを示す。 スケールバー：50 μ m

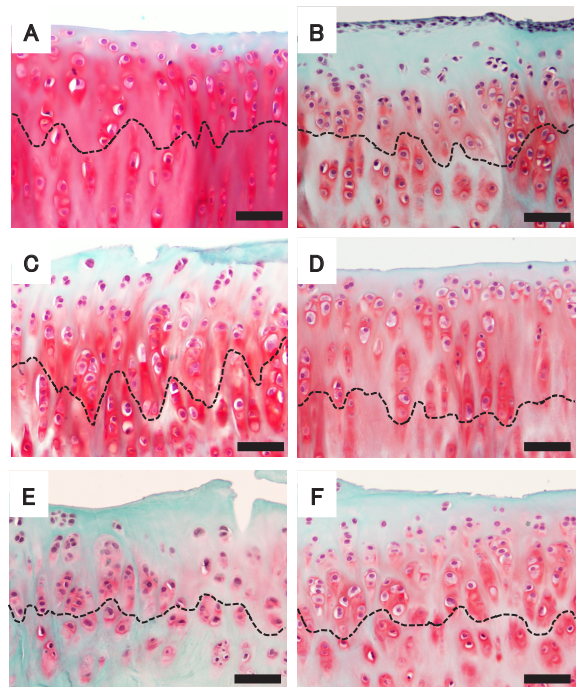


図4 脛骨接触部の関節軟骨

- A. 対照0W群：非石灰化層の染色性は保たれている。
 B. 固定後0W群：非石灰化層の染色性の低下している。
 C. 非寒冷2W群：非石灰化層の染色性はやや保たれている。
 D. 寒冷2W群：染色性は非寒冷2W群と比べて保たれている。
 E. 非寒冷4W群：軟骨細胞周囲のみ染色されている。
 F. 寒冷4W群：非寒冷4W群と比べて染色性は保たれている。
 破線：タイドマーク スケールバー：50 μ m

IV. 考 察

1. 関節軟骨厚について

本研究では、脛骨非接触部において、ギプス固定解除後の自由飼育により経時的な関節軟骨厚の減少が認められた。関節不動化後の再可動による影響について、Nagaiら⁴⁾はラットの膝関節を8週間固定した後に3日、1、2、4、8週の自由飼育を行い、関節軟骨厚の変化を観察している。その結果、脛骨接触部ではいずれの期間においても実験群の関節軟骨厚は対照群と比べて低値を示している。しかし、大腿骨移行部、脛骨移行部、脛骨非接触部の関節軟骨厚は実験群と対照群の間に有意差はなかったと報告している。また、Andoら¹⁰⁾は、ラットの膝関節を4週間固定し、固定解除後16週間の自由飼育を行った際の関節軟骨厚について、大腿骨移行部の関節軟骨厚は対照群と比べて有意に増加し、その他のすべての関節軟骨厚に有意差はなかったと報告している。本研究では再可動後の時間経過とともに関節軟骨厚が減少する所見が得られ、先行研究とは異なる結果が得られた。この原因については、固定期間や計測方法の相違などが影響を及ぼした可能性が考えられる。

さらに、関節不動化後の寒冷浴の影響については、小島ら³⁾はラットの膝関節を2週間ギプス固定後、寒冷浴を実施し、その効果を検討している。これによれば、寒冷浴を行った群では関節軟骨の菲薄化は認められなかったと報告している。本研究では、非接触部の関節軟骨厚において寒冷2W群と寒冷4W群との間に有意差はみられなかった。Sasakiら¹¹⁾の研究では、ラットの膝関節を約5°Cの水温で20分間の寒冷浴を行ったところ、膝関節内の温度が約20°C低下したと報告している。小島ら³⁾は寒冷療法による二次的な循環障害の改善が関節軟骨の菲薄化を予防したと推察しており、本研究においても寒冷浴によって関節内の温度が低下し、循環障害の改善により関節軟骨厚が保たれた可能性が考えられる。

一方で、寒冷浴の有無による関節軟骨厚に有意差はみられなかった。この原因として、軟骨表面からタイドマークまでの非石灰化層を関節軟骨厚計測域としたが、タイドマークは不規則な波形を呈しているため、分散が大きくなった可能性が考えられる。

2. S-O染色による基質染色性について

本研究の結果から、4週間のギプス固定によりS-O染色の染色性低下が認められ、これは時間経過とともにさらに低下する傾向が得られた。一方で寒冷浴を行うことにより、S-O染色の染色性は保たれる傾向にあった。関節不動化後の基質染色性について、Rennerら¹²⁾はラット足関節を4週間固定し、固定解除後3週間の自由飼育による組織学的変化をS-O染色を用いて検討している。これによれば、関節不動化後に軟骨基質の染色性の低下が認め

られたと報告されている。また、Nagaiら⁴⁾はラットの膝関節を8週間固定し、固定解除後0、3日、1、2、4、8週間の自由飼育による、大腿骨と脛骨の変化を検討している。これによれば、各領域における軟骨基質の染色性は経時的に低下したと報告されている。

先行研究と本研究の結果を比較すると、寒冷浴を実施しなかった群の関節軟骨は関節軟骨基質の染色性低下が認められ、先行研究を支持する結果となった。Hagiwaraら¹³⁾は関節固定により軟骨基質分解酵素がコラーゲンやプロテオグリカンを分解した可能性を示しており、本研究における関節軟骨基質の染色性低下は同様の原因によるものと考えられるが、原因を解明するには至らなかった。関節軟骨に力学的な過負荷が生じると、軟骨細胞からコラーゲンを分解するコラゲナーゼやプロテオグリカンを分解するアグリカナーゼなどの分解酵素が産生される¹⁴⁾。S-O染色は関節軟骨基質のアグリカンを染色しているため、今後はA disintegrin and metalloproteinase with thrombospondin motifs - 5 (以下ADAMTS-5)の免疫染色や定量測定による検討が必要である。

一方で、寒冷浴を実施した群では、寒冷浴を実施しなかった群に比べて関節軟骨基質の染色性は保たれていた。この所見については、これまで報告されたものは見当たらず、新規的な所見であった。しかし、今回の研究において染色性の評価は数値化しておらず、客観性に欠けることが本研究の限界である。今後は染色性をグレイスケールにより数値化して検討する必要がある。また、寒冷浴が関節軟骨基質の染色性を改善または維持する機序は不明であり、今後はADAMTS-5や、分解酵素を阻害するメタロプロテアーゼ阻害物質 (Tissue Inhibitors of Metalloproteinases ; TIMP) を指標とした検討が必要である。

V. 結 論

関節固定により拘縮が生じると、S-O染色の染色性の低下が認められ、固定解除後もこの変化は経時的に進行することが示唆された。一方で、寒冷浴を行うとこの変化は抑制される傾向にあり、寒冷刺激は拘縮後の関節軟骨における器質的変化の予防に有用である可能性が示唆された。

謝 辞

本研究を行うにあたり、多大なる御協力をいただきました金沢大学附属病院の竹田圭佑先生に感謝申し上げます。

利 益 相 反

本研究に関して開示すべき利益相反はない

文 献

- 1) 沖田実：関節可動域制限 第2版 病態の理解と治療の考え方. 沖田実(編), 三輪書店, 東京, 2013, pp2-20.
- 2) 坂本淳哉, 神谷聖佳・他：関節不動化, ならびに持続的他動運動がラット距腿関節の関節軟骨におよぼす影響. 理学療法探究. 2003 ; 6 : 20-25.
- 3) 小島聖, 細正博・他：ラット膝関節2週間後の拘縮に対する寒冷浴が関節軟骨に及ぼす病理組織学的影響. 臨床理学療法研究. 2010 ; 27 : 5-9.
- 4) Momoko Nagai, Akira Ito, et al. : Remobilization causes site-specific cyst formation in immobilization-induced knee cartilage degeneration in an immobilized rat model. *J.Anat.* 2016 ; 228 : 929-939.
- 5) AKIRA ANDO, YOSHIHIRO HAGIWARA, et al. : Increased Expression of Metalloproteinase-8 and -13 on Articular Cartilage in a Rat Immobilized Knee Model. *Tohoku J. Exp. Med.* 2009 ; 217 (4) : 271-278.
- 6) 亀倉暁, 下赤隆・他：マウス変形性関節症モデルにおける関節軟骨細胞の病的肥大分化とMMP-13の発現. 関節外科. 2006 ; 25 (5) : 20-28.
- 7) 渡邊晶規, 細正博, 他：関節拘縮における関節構成体の病理組織学的変化—ラット膝関節長期固定モデルを用いた検討—. 理学療法科学. 2007 ; 22 : 67-75.
- 8) Jianhong Qi, Zunjie Hu, et al. : Cartilage storage at 4 °C with regular culture medium replacement benefits chondrocyte viability of osteochondral grafts in vitro. *Cell Tissue Bank.* 2016;17 (3) : 473-479.
- 9) M.Nomura, N.Sakitani, et al. : Thinning of articular cartilage after joint unloading or immobilization. An experimental investigation of the pathogenesis in mice. *Osteoarthritis and Cartilage.* 2017 ; 25 : 727-736.
- 10) Akira Ando, Hideaki Suda, et al. : Reversibility of Immobilization-Induced Articular Cartilage Degeneration after Remobilization in Rat Knee Joints. *Tohoku J. Exp. Med.* 2011 ; 224 (2) : 77-85.
- 11) Ryo Sasaki, Junya Sakamoto, et al. : Effect of Cryotherapy Applied at Different Temperatures on Inflammatory Pain During the Acute Phase of Arthritis in Rats. *Physical Therapy.* 2021 ; 101 : 1-9.
- 12) A.F.Renner, E.Carvalho, et al. : The effect of a passive muscle stretching protocol on the articular cartilage. *Osteoarthritis and Cartilage.* 2006 ; 14 (2) : 196-202.
- 13) Yoshihiro Hagiwara, Akira Ando, et al. : Change of Articular Cartilage after Immobilization in a Rat Knee Contracture Model. *J Orthop Res.* 2009 ; 27 : 236-242.
- 14) 木村友厚：関節軟骨の構造と軟骨破壊の基礎. 関節外科. 2006 ; 25 suppl-1 : 10-14.

症例研究

植え込み型除細動器留置後の運動耐容能の評価に 心肺運動負荷試験と6分間歩行試験の併用を試みた一例

仙石拓也¹⁾ 高橋郁文¹⁾ 高田 勇¹⁾ 坂口唯李¹⁾ 吉田信也¹⁾
櫻井吾郎¹⁾ 下島正也²⁾ 中川陽一郎²⁾
武田裕子²⁾ 薄井荘一郎²⁾ 高村雅之²⁾ 八幡徹太郎³⁾

要旨

【症例・経過】

50代男性。複数回の冠動脈イベントや僧帽弁閉鎖不全症を背景とした慢性心不全の治療のため、Z日に入院した。Z+16日の心エコー検査で人工僧帽弁の脱落を認め、再置換術が施行された。その後、洞不全症候群などに対し植え込み型除細動器（設定：DDDR, 70bpm, 加速度センサー）が留置され、Z+48日に初回的心肺運動負荷試験（CPX）を実施した。

【結果と対応】

初回のCPXではレートレスポンスを認めず、Z+51日に下限心拍数を100bpmに再設定した後に再測定し、最大酸素摂取量の改善を確認できた。これに加え、Z+52日に6分間歩行試験を実施し、レートレスポンスを認め（79bpmから121bpm）歩行距離は480mであった。結果を踏まえ、運動療法を実施する際には加速度センサーが反応しやすい歩行などが推奨された。

【結論】

デバイスの特徴を把握した上で運動耐容能を評価し、運動時のレートレスポンスを確認する必要性が示唆された。

キーワード 植え込み型除細動器（ICD）、心肺運動負荷試験、レートレスポンス

I. はじめに

心室細動や心室粗動といった致命的な不整脈の予防や低心機能の心不全に対して植え込み型除細動器（ICD）が適応となる^{1,2)}。ICDは不整脈に対するショック作動に加え、心拍応答（レートレスポンス）機能を有し、適切な設定により運動耐容能の改善にも繋がるため、術後の心臓リハビリテーションの導入が推奨されている^{3,4)}。ICD植え込み術後の心臓リハビリテーションを行う上でいくつかの注意点があり、そのうちの一つにレートレスポンス機能の特徴を把握することが挙げられる¹⁾。レートレス

ポンスセンサーには大きく分けて非生理的センサーと生理的センサーが存在する⁵⁾。非生理的センサーは歩行などの身体運動による加速度を感知し、生理的センサーは心室内インピーダンスなどからレートレスポンスを行う⁵⁾。適切なレートレスポンスセンサーの設定により運動時の心拍数（HR）は増加するが、非生理的センサーによるレートレスポンス機能は、自転車エルゴメータのような上肢・体幹の体動が少ない運動では、センサーが反応しない場合があり注意が必要である^{1,6)}。

また、ICDなどのデバイス植え込み術後の運動耐容能の評価として自転車エルゴメータやトレッドミルを用いた心肺運動負荷試験（CPX）が挙げられる。CPXは呼気ガス分析をランプ負荷法にて実施することによって、酸素摂取量や換気効率・循環応答を、最大負荷のみならず嫌気性代謝閾値（AT）などの運動強度において評価することができる⁷⁾。この意義は非常に大きく、ATの運動負荷を決定することで、安全な運動処方も可能となる⁷⁾。そのため、可能な限り退院前にCPXを実施し正確な運動処方

1) 金沢大学附属病院 リハビリテーション部

(〒920-8641 石川県金沢市宝町13-1)

2) 金沢大学附属病院 循環器内科

(〒920-8641 石川県金沢市宝町13-1)

3) 金沢大学附属病院 リハビリテーション科

(〒920-8641 石川県金沢市宝町13-1)

責任著者連絡先：moo.49k.ree@gmail.com

(投稿日：2023年6月26日 受理日：2023年10月31日)

を行うことが推奨されている^{1,8)}。しかし、ICDの多くは非生理的センサーを用いているため、自転車エルゴメータによる運動負荷では、正常なレートレスポンスを起こさないことがあり¹⁾、負荷方法の工夫やデバイスの再設定が必要となる。

今回、複数回の冠動脈イベントや僧帽弁閉鎖不全症(MR)に対する治療後、洞不全症候群および多発心室性期外収縮(PVC)を発症し、ICD植え込み術を行った症例を担当した。退院前の評価の一環として行ったCPXでレートレスポンスが得られず、下限心拍数(Lower Rate)を変更し再検査を行ったところ最大酸素摂取量(Peak VO₂)の改善を認めた。また、追加で6分間歩行試験を実施し、体動によるレートレスポンスを確認しLower Rateの設定を決定することができたため、その経過を報告する。

II. 症例情報

【症例紹介】

心房粗動(AFL)を背景とした慢性心不全のコントロールに難渋し、当院に転院となった50代男性である。職業は会社員であり、業務内容には多少の重労働も含まれていた。前医でも理学療法を実施されており、転院時には院内歩行レベルでは自覚症状は認めなかった。主訴は仕事復帰であり、喫煙歴はなく機会飲酒程度であった。

【診断名】

主診断名は慢性心不全であり、合併症に僧帽弁閉鎖不全症、洞不全症候群、多発心室性期外収縮、非通常型心房粗動、虚血性心筋症、発作性心房細動、右上肢末梢神経障害、重症睡眠時無呼吸症候群が存在した。また、併存症は高血圧、脂質異常症、肥満症、既往歴は顔面帯状疱疹(40歳代)であった。

【現病歴(入院日をX年Y月Z日とする)】

X-11年に急性下壁心筋梗塞を発症し右冠動脈に対して緊急で経皮的冠動脈インターベンション(PCI)が施行された。その後、左前下行枝および左回旋枝(LCX)の残存病変および高度MRが認められ、同年に冠動脈バイパス術および僧帽弁形成術が施行された。しかし、術後に中等度以上のMRが残存したため、約1か月後に僧帽弁置換術(MVR)が施行された。以後は心不全の増悪を認めることなく経過したが、LCXのバイパスグラフトの閉塞を認め、追加でPCIを施行された。

X-2年にAFLを認め、労作時の息切れや脳性ナトリウム利尿ペプチド(BNP)の上昇を認めた。ピソプロロールマルにて長期的にレートコントロールを試みたが効果は乏しく、X-1年には心不全増悪により入院となった。入院後にアミオダロン投与下にて電氣的除細動を行い、AFLは停止した。その後は、HR 50bpm台の接合部調律が継続したため、ピソプロロールマルとアミオダロンの内服

を継続とした上で自宅退院となった。しかし、退院1週間後の再受診でAFLの再燃、うっ血性心不全を認めたことから再入院となった。自宅生活中は、1日の飲水量が4000-5000mlと過多であったため、水分および塩分制限を加えた上で、トルバプタンを導入したが心不全のコントロールに難渋した。AFLが心不全増悪に関連していることが疑われZ日に当院に転院となった。Z+2日にAFLに対するカテーテルアブレーションが行われ、Z+6日より理学療法開始となった。

なお、ヘルシンキ宣言に基づき、本症例に対して本報告の趣旨を十分に説明し口頭にて同意を得た。

【入院時医学情報および検査情報】

NYHA分類はII度であり、心電図ではHRが102bpmであり、AFLを認めた。胸部レントゲンより、Cardio-Thoracic Ratioは58.3%であり、右肺に優位な胸水の貯溜を認めた。前医でZ-11日に行った心エコー検査は、左室駆出率(LVEF) 37%、左房径(LAD) 57mm、左室拡張末期径/収縮末期径(LVDd/s) 65/53mm、右室右房間圧較差(TR-PG) 25mmHg、下大静脈径(IVC) 32mmであった。また、前医にてZ-6日、当院にてZ+2日に実施した心臓カテーテル検査はどちらの結果も同様であり、#6に90%、#14に75%の狭窄を認めた。内服薬の情報および血液データはそれぞれ表1および表2を参照とする。

表1 入院時薬剤情報

内服薬	作用
バイアスピリン	抗血小板剤
タケキャブ	プロトンポンプ阻害剤
サムスカ	V ₂ 受容体拮抗剤
ダイアート	持続型ループ利尿剤
アトルバスタチン	HMG-CoA還元酵素阻害剤
ベリキューボ	慢性心不全治療剤
ワーファリン	経口抗凝固剤
フォシーガ	選択的 SGLT2 阻害剤
ピソプロロールフマル	選択的 β1 アンタゴニスト
ラニラビッド	強心配糖体製剤
エンレスト	アンジオテンシン受容体ネプリ頼信阻害剤
ゾルピデム	入眠剤

表2 血液データ

検査項目	入院時 (Z日)	退院前 (Z+50日)
Hb (g/dl)	12.5	11.5
CRP (mg/dl)	0.07	0.50
PT-INR	1.85	2.49
Cr (mg/dl)	0.99	0.73
K (mEq/L)	4.8	3.8
BNP (pg/ml)	590.4	99
TP (g/dl)	6.8	6.7
アルブミン (g/dl)	3.9	3.4

Ⅲ. 理学療法評価と経過

【理学療法初期評価 (Z+6日)】

入院時より100m以上の歩行が可能でありADLも全て自立していた。安静度は院内フリーとされており、院内歩行も自立されていた。初回理学療法時より独歩にて出療され、安静時血圧は91/36mmHg、HRは60~70bpmであった。運動療法としてストレッチや下肢レジスタンス運動を実施した後、自転車エルゴメータを実施した。自転車エルゴメータの負荷を漸増し25wattまで増加したところ、運動中の最大HRは95bpmでありPVCを認めた。運動中の胸部症状や息切れなどは認めず、運動後の血圧は97/52mmHg、HRが70~80bpmであった。PVCは安静時より認めており運動誘発性ではなかった。これらの評価を踏まえ、入院中の心肺機能の維持・向上を目的に持久性運動を主体とした心臓リハビリテーションを実施する方針とした。

【理学療法開始後の経過】

Z+6日から理学療法を開始し、自覚症状は著変なく25-30watt程度の運動療法を継続した。Z+16日の心エコー検査にて僧帽弁 (MVR後の人工弁) の脱落を認め、Z+23日に強心薬によるコントロールおよび大動脈内バルーンポンピング術 (IABP) 下で再度、MVRが施行された。術後にIABPは抜去されたが、人工心肺からの離脱が困難でありIMPELLA 5.0が留置され、全身状態の管理が行われた。Z+29日にカルベジロール1.25mgが開始された。Z+30日にIMPELLA 5.0から離脱し、同日に洞不全症候群および多発PVCに対して一時的ペースメーカが留置され、その後はオールペースングで経過していた。Z+35日にICD (DDDR, 70bpm, 加速度センサー) 植え込み術が施行され、一時的ペースメーカは抜去となった。Z+36日に集中治療室を退室され、主治医の許可の下、Z+41日よりリハビリテーション室への出療を再開した。Z+42日には、臨床工学技士によりICD植え込み術後のデバイスの確認が行われ、Lower rateが70bpmから60bpmに変更となり、心房頻拍および心房細動に対する抗頻脈ペースング機能がONに設定された。運動療法は自転車エルゴメータを用いて実施していたが、30wattまで負荷を漸増するもレートレスポンスを認めなかったため、Z+43日に主治医に報告した。Z+44日に主治医と相談した上で、レートレスポンスの評価を行った。

Ⅳ. 介入と結果

【レートレスポンス評価 (Z+44日)】

運動療法中の自転車エルゴメータの負荷量の漸増に対してレートレスポンスを認めなかったことを主治医に相談の上、レートレスポンスの評価を行った。この時のLower rateは70bpmであり、またドブタミン (強心薬) 0.5

mlを持続静注下で実施された。評価項目は①自転車エルゴメータ、②トレッドミル歩行試験、③6分間歩行試験とした (表3を参照)。①自転車エルゴメータの評価では、運動療法で実施していた30wattから負荷量を漸増させ50wattまで実施したが、レートレスポンスは認めなかった。Borg Scaleも胸部11から12へ、下肢11から13へと大きな変化を認めなかった。また、運動前後の血圧の変化は認めなかったが、PVCの散発を認めた。②トレッドミル歩行試験では、1.0km/hから3.5km/hまでの運動負荷で実施し、HRは80bpmから103bpmとレートレスポンスを認めた。この時のBorg Scaleは胸部11から12へ、下肢11から11へと変化を認めなかった。最後に③6分間歩行試験は歩行距離が380mで試験開始直後よりレートレスポンスを認めた。試験開始1分でHR 111bpm、2分で120bpmとなり、その後は115~120bpmで推移した。本症例は、将来的に心臓移植になりうる症例であるため、その一つの基準であるPeak VO₂ < 14ml/kg/min⁹⁾ に対して、この時点でどの程度のPeak VO₂を有するのかを把握するためにCPXを実施する方針となった。

表3 レートレスポンス評価のまとめ

①自転車エルゴメータ				
運動負荷 (watt)	HR (bpm)	Borg Scale		Talk test
		胸部	下肢	
30	72	11	11	-
40	72	11	12	±
50	72	12	13	+
②トレッドミル歩行試験				
速度 (km/h)	HR (bpm)	Borg Scale		Talk test
		胸部	下肢	
1.0	80	11	11	-
2.0	95	11	11	-
3.0	102	12	11	-
3.5	103	12	11	±
③6分間歩行試験				
総歩行距離	HR (bpm)	Borg Scale		
		胸部	下肢	
380m	開始時	70	9-10	9-10
	終了時	119	12	12

+ : 著明な息切れあり、± : 呼吸数の増加を認めるが著明な息切れはなし、- : 息切れなし

【初回CPX検査 (Z+48日)】

CPXの開始前に実施上の注意点を十分に説明し、主治医同伴の下で実施した。負荷プロトコールは0wattから開始し10watt Rampで実施した。この時のLower Rateは60bpmに設定されていた。運動開始直後より酸素摂取量 (VO₂) は増加し始めたが、HRは60bpm台から変動せず、運動終了まで一定の値で推移した。運動終了時のBorg Scaleは胸部11、下肢14、VO₂はATで6.09ml/kg/min (1.74 METs)、Peakで10.18ml/kg/min (2.91METs) であった (表4を参照)。また、ATのVO₂/HRは7.5ml/beatであった。終了

表4 心肺運動負荷試験の結果

		Z+48日	Z+51日
Lower Rate (bpm)		60	100
運動時間		6分33秒	8分00秒
AT到達時間		3分00秒	2分45秒
HR (bpm)	AT	68	100
	Peak	66	100
収縮期血圧 (mmHg)	AT	100	99
	Peak	91	125
WR (watt)	AT-1min	20	18
	Peak	65	81
Borg Scale	胸部	11	11
	下肢	13	14
R	AT	0.97	0.98
METs	AT	1.74	1.83
	Peak	2.91	3.36
VO ₂ /HR (ml/beat)	AT	7.5	5.4
	Peak	12.9	9.8
Peak VO ₂ (ml/min/kg)	AT	6.1	6.4
	Peak	10.2	11.7
VE vs. VCO ₂ slope		37.3	35.5

AT：嫌気性代謝閾値，WR：負荷量，R：ガス交換比，Peak VO₂：最高酸素摂取量，Peak VO₂/HR：最高酸素脈，VE vs. VCO₂ slope：運動時換気亢進指標

後も胸部の自覚症状は乏しく独歩にて帰宅された。

CPX実施時のレートレスポンスが得られなかった原因として、ICDによるペースング機能が加速度センサーによるものであったことに対し、自転車エルゴメータを用いたCPXでは、上肢や体幹の動きが少なくレートレスポンスが得られなかった可能性が高いと考えられた。そこで、心拍数の増加による最大酸素摂取量の増加を期待してLower Rateの下限値を上げた後、再度CPXを行う方針となった。

[2回目のCPX (Z+51日)]

主治医および臨床工学技士と連携をとった上、Lower Rateは100bpmに再設定しCPXの再検査を行った。初回CPXと同様に患者への注意点の説明を行い、主治医同伴の下でCPXを実施した。負荷プロトコールも同様で0wattから開始し10watt Rampとした。運動開始直後よりVO₂の増加を認め、HRは100bpmのまま運動終了まで一定の値で推移した。運動終了時のBorg Scaleは胸部11、下肢13、VO₂はATで6.39ml/kg/min (1.83METs)、Peakで11.75ml/kg/min (3.36METs)であった(表4を参照)。また、ATのVO₂/HRは5.4ml/beatであった。心拍数増加による酸素摂取量の増加を確認できたため、検査終了後にLower Rateは60 bpmに再設定された。

[転院前評価 (Z+52日)]

Z+52日に転院前評価として握力、Short Physical Performance Battery (SPPB)、6分間歩行試験の評価を行った。それぞれの結果は、握力は29kg、SPPBは合計12点で満点であった。また、6分間歩行試験は歩行距離が480m

であり、HRは79bpmから120bpmと上昇し、レートレスポンスを確認することができた。この結果を踏まえ、トレッドミル歩行時のレートレスポンスの確認を行ったところHRの上昇を認め、自転車エルゴメータよりもトレッドミルを用いた運動が推奨されたため、運動療法のプログラムに反映した。Z+55日に転院となった。

V. 考 察

本症例は、ICD植え込み術後に自転車エルゴメータを用いたCPXにてLower Rateを再設定することによって、Peak VO₂の上昇を認めた。安静時よりオールペースングであった上、レスポンスセンサーが加速度センサーであったため、自転車エルゴメータを用いたCPXではレートレスポンスを認めず、一定のHRで推移した。先行研究では、ペースングに依存している患者は運動機能が低下することが報告されている¹⁰⁾。一方で、ペースメーカーの適切なHR設定が、運動機能の改善に寄与することが報告されている^{11,12)}。これらを踏まえ、本症例は運動療法を行う上で、適切なHRの設定が重要な鍵となる症例と考えられた。

2回のCPXを通して、AT時の酸素摂取量は類似した結果を示し、運動処方と共に20watt程度であった。これに対し、HRの設定を60bpmから100bpmに設定することで、Peak VO₂の上昇を認めた。心拍出量は、HRと1回拍出量の積から換算される⁵⁾。一般的に40%以下の相対運動強度ではHRと1回拍出量が同時に増加し、心拍出量の増加を認める¹³⁾。しかし、本症例の運動時のHRは一定であり、運動負荷の増加に伴い変化を起こせるのは、1回拍出量のみであった。その結果、AT VO₂は同等の値を示したが、心拍出量の指標となるVO₂/HRは初回7.5ml/beat、2回目5.4 ml/beatと大きな乖離が生じた。また、相対運動強度が上昇すると、1回拍出量はプラトーに達し、HRの増加により心拍出量を増加させる¹³⁾ことから、HRの設定が高かった2回目の測定環境が、高負荷の運動に対して心拍出量を増加させるために適した環境であったと考えられる。しかし、どちらの測定もPeak VO₂は心不全患者の生命予後悪化のカットオフ値と言われる14mL/kg/min⁹⁾を下回っており、レートレスポンスが生じる環境下での運動耐容能の評価が必要と考えられた。

レートレスポンス評価とCPXの結果を踏まえ、強心薬から離脱した環境下で6分間歩行試験の再評価を実施したところ、歩行距離は380mから480mに増加し、慢性心不全の予後不良の基準値と言われる240mから450m^{14,15)}を上回っていた。このことから、6分間歩行試験ではCPXほどの詳細な結果は得られないが、レートレスポンスが生じる環境下で心拍出量が増加していることが推測された。

冠動脈疾患や心不全患者に対するICD植え込み術後の患者を対象とした臨床試験で、平均HRが>90bpmの患者は、<75bpmの患者と比較してイベント発生率が3.6倍に

なることが報告されている¹⁶⁾。また、古くから安静時HRと生命予後の関連は数多く報告されており、秋山¹⁷⁾は生涯HRと寿命は深く関連すると述べている。このことから、安静時HRが高いことは望ましくないと考えられている。これらに加え、6分間歩行試験で十分なレートレスポンスを確認できたことが有益な情報となり、最終的に本症例のLower rateの設定は60bpmとなった。

今回、ICD植え込み術後の症例に対し退院前のCPXおよび6分間歩行試験を通じて、Lower rateの設定およびそのレートレスポンスを確認することができた。本症例は、将来的に心移植へ移行する可能性があるため、慎重かつ継続的な運動療法を実施する必要がある。今回の結果を受け、運動負荷を漸増する際には、自転車エルゴメータの使用は避けてトレッドミルや平地歩行など、加速度センサーが反応しやすい環境下での運動が推奨される。

VI. 結 論

ICD植え込み術後のCPXにてレートレスポンスが得られずLower rateの再設定後に2回目のCPX、さらに6分間歩行試験を通じてLower rateや運動処方を検討した症例を経験した。Lower Rateの変更によるAT値の変化は認めなかったが、Peak VO₂の向上を認めた。一方、6分間歩行試験では、レートレスポンスを認め結果も良好であった。これらを踏まえ、ICD植え込み術後に自転車エルゴメータを用いた運動療法を行う際は、レートレスポンスを慎重に確認し、場合に応じてはトレッドミルや歩行練習に切り替える必要性が示唆された。

参考引用文献

- 白石裕一：デバイス植え込み患者における心臓リハビリテーション治療。メディカルリハビリテーション。2021; 262: 35-41.
- 日本循環器学会・他：不整脈非薬物治療ガイドライン（2018年改訂版）。
- Belardinelli R：Moderate exercise training improves functional capacity, quality of life, and endothelium-dependent vasodilation in chronic heart failure patients with implantable cardioverter defibrillators and cardiac resynchronization therapy. *Eur J Cardiovasc Prevent Rehab.* 2006; 13: 818-825
- Fan S：Outcomes and adverse events among patients with implantable cardiac defibrillators in cardiac rehabilitation：a case controlled study. *J Cardiopulm Rehabil Prev.* 2009; 29: 40-43.
- 三橋武司：心臓ペースメーカーのレートレスポンス設定と心臓リハビリテーション。 *Jpn J Rehabil Med.* 2019; 56: 984-989.
- 白石裕一：デバイス植え込み後患者における運動負荷試験と包括的心臓リハビリテーションの意義。2019; 28 (3) : 249-255.
- 安達仁：CPXを用いた運動態容能評価。 *Jpn J Rehabil Med.* 2022; 59: 12-17.
- 後藤葉一：国循環心臓リハビリテーション実践マニュアル。メディカル出版。2017; p178.
- Passantino A：Short-term change in distance walked in 6 min is an indicator of outcome in patients with chronic heart failure in clinical practice. *J Am Coll Cardiol.* 2006; 48: 99-105.
- Ujeyl A：Impaired Heart rate responses and exercise capacity in heart failure patients with paced baseline rhythms. *J Cardiac Fail.* 2011; 17: 188-195.
- Greco EM：Cardiac rehabilitation in patients with rate responsive pacemakers. *PACE.* 1998; 21: 568-575.
- 中屋雄太：恒久的ペースメーカーの感度調整を行うことで、自転車エルゴメータでの心肺運動負荷試験で運動処方が行えた一例。理学療法学。2018; 45 (3) : 190-196.
- 高橋真、関川清一、他：運動時の循環調節：基礎研究から臨床への展開。理学療法の臨床と研究。2017; 26: 23-30.
- Rostagno C：Prognostic value of 6-minute walk corridor test in patients with mild to moderate heart failure: comparison with other methods of functional evaluation. *Eur J Heart Fail.* 2003; 5 (3) : 247-252.
- Ingle L, Rigby AS, et al. Prognostic value of the 6 min walk test and self-perceived symptom severity in older patients with chronic heart failure. *Eur Heart J.* 2007; 28 (5) : 560-568.
- Ahmadi-Kashani M：Heart rate predicts outcomes in an implantable cardioverter-defibrillator population. *Circulation.* 2009; 120 (21) : 2040-2045.
- 秋山俊雄：安静時心拍数と予後の関係。 *Jpn J Electrocardiology.* 2011; 31 (4) : 425-441.

