
卒業研究論文集

第 17 卷

ANNUAL REPORTS OF GRADUATION THESES

Vol. 17

長崎大学医学部保健学科

理学療法学専攻 17 期生

2021 年

卒業研究論文集 第17巻 2021年

目次

卒業研究論文

運動を中心とした高齢者サロンの効果とその関連要因の検討新川秀太・平林晴菜	1
サージカルマスクの着用が運動持続時間に及ぼす影響有本ちひろ・臼井理人	8
発達症が疑われる1症例にみられたハイハイ動作の特徴について ーハイハイ動作の変化過程を定型発達児と比較してー江浦貴也・高見勇仁	15
寒冷療法単独および寒冷療法と温熱療法の併用がラット有痛性癱痕モデルに及ぼす影響江島千尋・吉梅智恵	21
姿勢の相違が健常者の運動後呼吸困難の回復過程に及ぼす影響金城友也・柴田寛斗	28
足関節の機能性テーピングが運動パフォーマンスに及ぼす影響田中地亮佑・古賀友香理	35
関節リウマチ患者の趣味・娯楽が心理状態にもたらす影響笹原夏香・村上まり奈	41
不動によって発生・進行した筋萎縮, 筋性拘縮, 筋痛に対するベルト電極式骨格筋電気刺激法の効果ーラットの実験モデルを用いた検討ー前田俊輔・三宅純平	45

運動を中心とした高齢者サロンの効果とその関連要因の検討

新川秀太・平林晴菜

要旨

長崎市内で実施している運動中心の高齢者サロンの参加者を対象に、地域活動、対人関係、運動習慣の状況をアンケートにて調査した。そして地域活動、対人関係、運動習慣に関連する要因を抽出し、サロンの効果と役割について考察した。サロンの特徴として半数以上のサロンが週1回以上の頻度で5年以上継続しており、参加者は後期高齢者の女性が多かった。また70%以上は何らかの疾患を有し、要介護認定者も多く、運動習慣のある人が半数以上であった。統計解析の結果から地域活動、訪問頻度、運動習慣には多くの項目が関連しており、特に疾患・健康観などの健康面が関連していた。さらに影響する要因を抽出すると体力への自信が抽出され、サロンの活動内容として従来の交流会・レクリエーションなどに運動を加えることで体力への自信が付き、閉じこもり予防だけでなく、健康の維持増進・介護予防に効果があると考えられた。

I. はじめに

わが国の高齢化率は1950年から増加傾向にあり、令和2年度の高齢社会白書¹⁾では高齢化率は28.8%となっている。今後、総人口が減少する中で65歳以上の人口は増加し、高齢化率は令和18年には33.3%となり、3人に1人が高齢者となる社会が訪れようとしている。

一方、高齢化を背景として、介護保険の要介護認定率は、令和2年には65~75歳で4.3%、75歳以上で32.5%と後期高齢者の認定率が高まっている。また、高齢者の独居世帯数の増加²⁾や閉じこもり³⁾など様々な生活課題が生じている。その対応の一つとして、地域に住む高齢者が気軽に集まって会話や食事ができる交流の場として高齢者サロン(以下、サロン)が展開されている。

サロンは1990年代前半に全国社会福祉協議会(以下、社協)が「高齢者が主体的に生きがいきづくり・健康づくりができる場」として提唱し、2000年にサロン活動の定義づけを行ったことをきっかけに全国各地でサロンの活動が展開されるようになった。加えて、2006年の介護保険法の改正では、高齢者の介護予防を重点とした取り組みが進められるようになり、2015年の改正では地域包括ケアシステムの構築が重点課題となり、地域の

医療機関と各市町村の自治体とが連携をしながら高齢者を地域社会全体で支えていくような取り組みが進められるようになった⁴⁾。

サロンの効果に関する先行研究では豊田⁵⁾らは「人間関係を豊かにしていくための地域活動の一形態として有効であること」や岩永⁶⁾はサロンの意義について、「サロンに参加することで、人と会う機会を増やし閉じこもりを防ぐこと」、「社会参加意欲を高めること」、「サロンに出かけることで体を動かす」などを挙げている。また、森⁷⁾が行ったサロン参加者の評価に関する研究では「サロンに参加する人のおおよそ3人に2人の割合で、サロンで芽生えた他者との出会いが日常生活へ還元されている」と報告している。このように従来のサロンの意義については検討されているものの、運動を中心としたサロンの効果とそれに影響する要因を検討した調査研究は少ない。

そこで本研究の目的は、運動を中心としたサロンの参加者を対象にアンケート調査を実施し、地域活動、対人関係、運動習慣に関わる状況を調査するとともに、それらの結果に影響する要因を検討し、サロンの介護予防における位置づけを考察することとした。

II. 対象と方法

1. 対象

長崎市内で運動を中心としたサロン 10ヶ所に参加する高齢者 194 名を対象に地域活動及び対人関係、運動習慣に関して自記式アンケートを行った。

2. 調査内容

(1) サロンの活動内容について

対象とした 10ヶ所のサロンにおいて、サロンの参加者数、開催継続年数、開催頻度、活動内容をサロン代表者に調査した。

(2) 参加者への調査内容

サロン参加者には年齢、性別、家族形態、疾患の有無、介護保険の有無、健康観、体力への自信などを基本情報として調査した。家族形態は「独居、夫婦二人暮らし、二世帯、その他」、介護認定は「非該当、要支援、要介護」、健康度は「非常に健康、健康な方だと思う、あまり健康ではない、健康ではない」、体力については、「大いにある、まあまあある、あまりない、まったくない」を選択肢とした。

地域活動の調査項目として地域活動参加の有無、対人関係は訪問機会の頻度とし、地域活動は「いつも参加する、時々参加する、あまり参加しない、全く参加しない」の 4 つの選択肢で回答し、訪問機会の頻度は「ほぼ毎日、週 1 回、月に 1 回、ほとんどしない」の 4 つの選択肢で回答してもらった。

運動に関してはサロン以外での運動頻度、継続期間、運動習慣の有無などとした。なお、運動は 30 分程度の運動を基本とし、運動習慣の有無は国民健康・栄養調査の基準「1 回 30 分以上の運動を週 2 回以上実施し、1 年以上継続している」に従い人数を算出した。

3. 統計解析

サロン参加者に対して行ったアンケートから地域活動及び対人関係、運動習慣の項目と基本情報との関連性を JMP Pro16 を用い、カイ二乗検定にて検討し、影響する要因を抽出するためにロジスティック回帰分析を用いて分析した。統

計的有意水準は 5%未満に設定した。なお、分析に際して家族形態は「同居、独居」、介護認定は「非該当、該当」、健康観と体力への自信は「ある、ない」、地域活動については「参加する、参加しない」、訪問頻度は「週 1 回以上、週 1 回未満」の 2 群に区分した。

III. 結果

1. アンケート結果

(1) サロンについて

参加人数は、最小 10 名、最大 50 名でサロン 1ヶ所あたりの参加人数は平均 26.5 名であった。開催年数は最小 1 年、最大が 29 年と幅広く、平均 9.2 年で、5 年～10 年が 3ヶ所、10 年以上継続しているサロンは 3ヶ所であった。開催頻度は週 1 回以上が 9ヶ所で、週 1 回未満が 1ヶ所であった。活動内容は運動以外に、「歌/カラオケ」と「レクリエーション」が 9ヶ所、「認知症予防」が 8ヶ所で実施していた。また、上記の活動に加えて「ボランティア」や「交流会」、「旅行/外出」といった活動を取り入れているサロンもあった(表 1)。

表 1 サロンについて

参加人数	平均	26.5 名
継続年数	平均	9.2 年
	10 年以上	3ヶ所
	5~10 年	3ヶ所
	5 年未満	4ヶ所
開催頻度	週 1 回以上	9ヶ所
	週 1 回未満	1ヶ所
活動内容	歌/カラオケ	9ヶ所
	レクリエーション	9ヶ所
	認知症予防	8ヶ所
	手芸/もの作り	6ヶ所
	ボランティア	3ヶ所
	交流会	2ヶ所
	旅行/外出	2ヶ所

(2) サロン参加者の結果

1) 基本情報

対象者 194 名のうち女性 160 名(82.4%)、男性

34名(17.6%), 平均年齢は78.0±6.8歳で, 女性77.8±6.7歳, 男性79.3±7.2歳であった。年代分布では65~74歳の前期高齢者が58名(29.9%), 75歳以上の後期高齢者が136名(70.1%)で後期高齢者の参加者が多かった。疾患の有無では何らかの疾患を有している人が78.4%, 無しが21.6%であった。家族形態では夫婦二人が76名(39.2%)と最も多く, 次いで独居が64名(32.9%), 二世帯が46名(23.7%), その他が8名(4.1%)であった。介護認定は非該当が155名(83.3%), 要支援1, 2が21名(11.3%), 要介護1~5が10名(5.4%)であった。

健康観は「大いにある」が10名(5.2%), 「まあまあある」が122名(63.5%), 「あまり無い」が49名(25.5%), 「全くない」が11名(5.7%)であった。

体力への自信は「大いにある」が19名(9.9%), 「まあまあある」が105名(55.0%), 「あまり無い」が

表2 対象者のアンケート結果

対象者	全体	194名
	男性	34名 (17.5%)
	女性	160名 (82.5%)
平均年齢	全体	78.0±6.8歳
	男性	79.3±7.2歳
	女性	77.8±6.7歳
年齢分布	65~74歳	58名 (29.9%)
	75歳以上	136名 (70.1%)
疾患の有無	有り	152名 (78.4%)
	無し	42名 (21.6%)
家族形態	独居	64名 (32.9%)
	夫婦二人暮らし	76名 (39.2%)
	二世帯	46名 (23.7%)
	その他	8名 (4.1%)
介護認定	非該当	155名 (83.3%)
	要支援1, 2	21名 (11.3%)
	要介護1~5	10名 (5.4%)
健康観	大いにある	10名 (5.2%)
	まあまあある	122名 (63.5%)
	あまり無い	49名 (25.5%)
	全く無い	11名 (5.7%)
体力への自信	大いにある	19名 (9.9%)
	まあまあある	105名 (55.0%)
	あまり無い	61名 (31.9%)
	全く無い	6名 (3.1%)

61名(31.9%), 「全くない」が6名(3.1%)であった(表2)。

2) 地域活動・対人関係の状況

地域活動と対人関係の状況について, 地域活動への参加は「いつも参加」が74名(38.9%), 「時々参加」が56名(29.5%), 「あまり参加しない」が26名(13.7%), 「全く参加しない」が34名(17.9%)であった。対人関係に関わる訪問頻度は「ほぼ毎日」が39名(21.2%), 「週1回」が94名(51.1%), 「月1回」が39名(21.2%), 「ほとんどない」が12名(6.5%)であった(表3)。

表3 地域活動・対人関係の状況

地域活動	いつも参加	74名 (38.9%)
	時々参加	56名 (29.5%)
	あまり参加しない	26名 (13.7%)
	全く参加しない	34名 (17.9%)
訪問頻度	ほぼ毎日	39名 (21.2%)
	週1回	94名 (51.1%)
	月1回	39名 (21.2%)
	ほとんどない	12名 (6.5%)

3) サロン以外での運動状況

サロン以外での運動状況について, 運動頻度は「週3回以上」が55名(29.4%), 「週2回」が52名(27.8%), 「週1回」が40名(21.4%)だった。運動継続期間は「1年以上」が123名(82.0%)であった。これらの結果より, 運動習慣「有り」が93名(50.5%)であった(表4)。

表 4 サロン以外での運動の状況

運動頻度	週 3 回以上	55 名 (29.4%)
	週 2 回	52 名 (27.8%)
	週 1 回	40 名 (21.4%)
	月 1~3 回	10 名 (5.3%)
	年 3~4 回	2 名 (1.1%)
	ほとんど行わない	28 名 (15.0%)
運動継続 期間	1 年以上	123 名 (82.0%)
	6 ヶ月~1 年	10 名 (6.7%)
	3~6 ヶ月	7 名 (4.7%)
	1~3 ヶ月	7 名 (4.7%)
	1 ヶ月以内	3 名 (0.2%)
運動習慣	有り	93 名 (50.5%)
	無し	91 名 (49.5%)

習慣がある人の中では同居している人や健康観が高く、体力に自信がある人が多かった(表 5-3).

(4) 「地域活動」, 「訪問頻度」, 「運動習慣」に関わる影響要因について

表 6 に地域活動, 訪問頻度, 運動習慣に関わる影響要因として抽出された項目のみを示す. すべての項目において「体力への自信」が影響要因として抽出され, 地域活動への参加には「年齢」も抽出された.

2. アンケート結果に関連する要因

地域活動, 対人関係, 運動状況に関するアンケート結果より, 地域活動への参加の有無と訪問頻度, 運動習慣の有無を代表値として, それぞれ基本情報と関連する項目についてカイ二乗検定を用いて検討した. さらに, 関連がみられた項目を独立変数, 年齢と性別を調整し, ロジスティック回帰分析を用いて影響要因を抽出した. なお, それぞれの結果については有意差のみられた項目のみを表に示す.

(1) 地域活動に関連する項目

地域活動への参加の有無には, 「家族形態」, 「疾患の有無」, 「介護認定」, 「体力への自信」との関連が認められた. 疾患を有していても地域活動に参加していることが伺われた(表 5-1).

(2) 訪問頻度に関連する項目

訪問頻度は誰かを訪ねたり, 誰かに訪ねられたりする頻度であり, 「疾患の有無」, 「健康観」, 「体力への自信」との間に関連が認められた. 地域活動と同様に疾患を有していても訪問している傾向にあった(表 5-2).

(3) 運動習慣に関連する項目

運動習慣の有無には「家族形態」, 「健康観」, 「体力への自信」と関連が認められた. 特に運動

表 5-1 地域活動との関連項目

説明変数		地域活動 する		地域活動 しない		χ^2	p 値
		n	%	n	%		
年齢	前期高齢者	49 名	25.8	8 名	4.2	12.748	0.0004
	後期高齢者	81 名	42.6	52 名	27.4		
家族形態	独居	35 名	18.4	26 名	13.7	4.955	0.0260
	同居	95 名	50.0	34 名	17.9		
疾患の有無	有り	96 名	50.5	52 名	27.4	4.198	0.0405
	無し	34 名	17.9	8 名	4.2		
介護認定	有り	14 名	7.6	17 名	9.2	8.35	0.0036
	無し	111 名	60.3	42 名	22.8		
体力への自信	有り	93 名	49.2	29 名	15.3	9.905	0.0016
	無し	36 名	19.1	31 名	16.4		

表 5-2 訪問頻度との関連項目

説明変数		週 1 回以上		週 1 回未満		χ^2	p 値
		n	%	n	%		
疾患の有無	有り	99 名	53.8	45 名	24.5	4.528	0.0334
	無し	34 名	18.5	6 名	3.3		
健康観	有り	99 名	53.8	30 名	16.3	4.4147	0.00417
	無し	34 名	18.5	21 名	11.4		
体力への自信	有り	97 名	53.0	24 名	13.1	11.11	0.0009
	無し	35 名	19.1	27 名	14.8		

表 5-3 運動習慣との関連項目

説明変数		運動習慣 有り		運動習慣 無し		χ^2	p 値
		n	%	n	%		
家族形態	独居	22 名	12.0	36 名	19.6	9.842	0.007
	同居	71 名	38.6	55 名	29.9		
健康観	有り	73 名	39.9	52 名	28.4	9.175	0.0025
	無し	20 名	10.9	38 名	27.7		
体力への自信	有り	72 名	39.6	46 名	25.3	13.407	0.0003
	無し	21 名	11.5	43 名	23.6		

表 6 ロジスティック回帰分析

独立変数	地域活動の影響要因		訪問頻度の影響要因		運動習慣の影響要因	
	95%CI	OR	95%CI	OR	95%CI	OR
年齢 ¹	1.61-10.02	4.02**	-	-	-	-
体力への自信 ²	1.00-4.27	2.07*	1.20-7.15	2.93*	1.05-5.59	2.42*

※95%CI:95%信頼区間 OR:オッズ比

¹年齢 前期高齢者 1, 後期高齢者 0 ²体力への自信 あり 1, なし 0 * p<0.05, ** p<0.01

IV. 考察

本研究は、運動を中心としたサロンに参加する高齢者の「地域活動」、「対人関係」、「運動習慣」に関する状況を調査し、それぞれに関連する要因を分析した。

今回の結果より、サロンの活動状況は半数以上が週1回以上開催し、継続年数は5年以上継続しているサロンが6ヶ所、10年以上継続しているサロンは3ヶ所であり、活動内容では運動以外に「歌/カラオケ」「レクリエーション」が9ヶ所、「認知症予防」が8ヶ所のサロンで実施されていた。

サロン参加者の状況は女性が多く、後期高齢者、同居者の割合が高かった。また、参加者の70%以上は何らかの疾患を有し、要介護認定者は31名(17%)であった。健康観と体力への自信については、68.7%が健康であると感じ、64.9%が体力に自信があると回答していた。そして地域活動は参加者の68.4%、訪問機会の頻度は72.3%が週1回以上であり、さらに運動習慣有りの割合は50.5%であった。

サロン参加者の状況を調査した坂本⁸⁾の報告では、参加者の介護認定率は約10%であったと報告している。また、健康観及び体力の自信について、平成29年度のスポーツ庁の調査⁹⁾によると60~70代で「健康である」と感じている人の割合は約70%、「体力に自信がある」人の割合は約40%であった。さらに平成30年度の国民健康・栄養調査¹⁰⁾では、65歳以上の運動習慣有りの割合は39.2%であったと報告されている。

今回のサロン参加者と比較すると健康観では同様の値を示したが、体力への自信と運動習慣では上述した報告より高い割合であった。つまり、今回のサロン参加者は疾患を有している人や要介護認定者が多く、サロンにおいては全てのサロンで運動を実施し、レクリエーションや認知症予防などの活動も実施していることから介護予防を目的としたサロンであると位置付けられる。その結果、高い健康観と体力への自信が、運動習慣の獲得につながっているものと考えられた。

さらに、地域活動・対人関係・運動習慣に関連する項目を検討した結果、「疾患の有無」、「介護認定」、「健康観」などの自身の健康に関する項目との関連性がみられ、ロジスティック回帰分析

の結果では、地域活動・対人関係・運動習慣のすべての項目に「体力への自信」が影響要因として抽出された。このことは「運動の実施」が体力への自信を向上させ、その結果、地域活動への参加、訪問機会の増加、運動の習慣化に繋がっていることを示唆している。

先行研究では、運動習慣がある人は体力への自信や主観的健康観が高いことが報告されており¹¹⁾、また、令和元年度の高齢者の社会活動に関する調査¹²⁾では、60歳以上でボランティアなどの地域活動やお稽古などの趣味活動をしていない人の理由として最も多かったのが「体力的に難しい(30.5%)」であり、次いで「活動をする意思がない(28.7%)」「時間的な余裕がない(28.0%)」であった。つまり、高齢者において「体力への自信をつけること」は心身の健康維持・増進だけでなく、ボランティアなどの地域活動への参加、趣味活動の促進など社会参加にも繋がると考えられた。

以上のことより、運動中心のサロンへ参加することは、「体力への自信」を向上させ、地域活動への参加、対人関係の構築、運動の習慣化に繋がりが、高齢者の閉じこもり予防や介護予防に効果があると考えられた。

謝辞

本研究にあたり、研究に参加、協力していただいたサロンの参加者の皆様及び、サロン運営に関わるスタッフの皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 内閣府:高齢社会白書令和3年度版.
https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2021/html/zenbun/s1_1_1.html (2021年12月27日引用)
- 2) 内閣府:高齢社会白書令和3年度版.
https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2021/html/zenbun/s1_1_3.html (2021年12月27日引用)
- 3) 安村誠司:高齢者における「閉じこもり」. 日老医誌. 2003; 40: 470-472.
- 4) 厚生労働省:介護保険制度の概要.
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/hukushi_kaigo/kaigo_koureisha/gaiyo/index.html (2021年12月27日引用)
- 5) 豊田保:参加者の視点から見た高齢者「ふれあい・いきいきサロン」の意義. 新潟医福誌. 2016; 8: 16-20
- 6) 岩永耕:「いきいき・ふれあいサロン」の効果に課する一考察—サロンの担い手への研究の知見から—. 現代社会学部紀要. 2019; 18: 117-124.
- 7) 森常人:「ふれあい・いきいきサロン」参加者の分析に関する一考察. 関西外国語大学研究論集. 2014; 100: 257-270.
- 8) 坂本俊彦:地域住民による「閉じこもり」予防活動の可能性. やまぐち地域社会研究. 2011; 9: 111-122.
- 9) スポーツ庁:スポーツ実施状況等に関する世論調査平成29年度版.
https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/chousa04/sports/1402343.htm (2021年12月27日引用)
- 10) 厚生労働省:国民健康・栄養調査票平成30年度版.
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/eiyuu/h30-houkoku_00001.html (2021年12月27日引用)
- 11) 内田遼太, 中垣内真樹, 他:長崎県における健康成人の運動習慣の実態. スポーツパフォーマンス研究. 2020; 12: 565-575.
- 12) 内閣府:高齢者の経済生活に関する調査令和元年度版.

<https://www8.cao.go.jp/kourei/ishiki/r01/zen tai/index.html> (2021年12月27日引用)

(指導教員 井口 茂)

サージカルマスクの着用が運動持続時間に及ぼす影響

有本ちひろ・臼井理人

要旨

本研究の目的は、サージカルマスク着用の有無が定常負荷での歩行運動の持続時間ならびに運動中の呼吸困難、脈拍数、経皮的動脈血酸素飽和度 (SpO₂) などに与える影響について調査することである。若年健常者 20 名を対象に、サージカルマスク着用と非着用の 2 条件で最高酸素摂取量の 80% に相当する定常負荷での歩行運動を実施し、呼吸困難、下肢疲労感、脈拍数、SpO₂ を比較した。結果、運動持続時間はサージカルマスク着用で中央値が 347 秒、非着用で 540 秒と有意に短縮した。また、サージカルマスク着用によって呼吸困難は有意に増強し、SpO₂ も有意な低下を認めた。以上より、サージカルマスク着用は呼吸困難、SpO₂ に影響を与え、定常負荷での歩行運動の持続時間を短縮させることが示唆された。

はじめに

2019 年末、中国武漢に端を発した新型コロナウイルスに対して、世界保健機関からは緊急事態宣言が出され、感染拡大予防対策が極めて重要視されている¹⁾。その一環として手指消毒に加え、フェイスマスク着用が推奨されている。特に、医療従事者においてはサージカルマスクを必ず着用し、患者においても院内を移動する際にはサージカルマスクの着用が適応されている²⁾。

その一方で、フェイスマスクを着用することで呼吸困難や不快感の増強が報告されている。健常成人を対象に 4 種類のフェイスマスク着用にてトレッドミルでの歩行運動後、呼吸抵抗、熱、湿度、かゆみなどの不快感の増強を認めている³⁾。同様に健常男性 12 名を対象にサージカルマスク着用の有無で自転車エルゴメータによる漸増運動負荷試験 (cardiopulmonary exercise test; CPX) を行った際、非着用時と比較し着用時の呼吸抵抗や疲労など有意な増強を認めた⁴⁾。さらに不快感増強の要因について、先行研究ではマスクの着用により頸部や胸部の呼吸補助筋が動員されたことで呼吸仕事量が増大し、呼吸困難が生じることを明らかにしている⁵⁾。

しかし、これまでにフェイスマスク着用の有無が運動耐容能に及ぼす影響について検討した先行研究は少ない。健常男性を対象にサージカルマスク着用の有無で自転車エルゴメータによる

CPX にて呼吸代謝指標を比較した結果、最高酸素摂取量 (peak oxygen consumption; VO₂ peak) や心拍数、分時換気量に有意な差は認められなかった⁴⁾。また健常者 44 名にサージカルマスク着用の有無で 6 分間歩行試験を実施した研究では、着用によって呼吸困難は有意に増強したが、歩行距離や心拍数、経皮的動脈血酸素飽和度 (percutaneous oxygen saturation; SpO₂) に有意差は認められなかった⁶⁾。同様に、健常男性 8 名を対象にサージカルマスク着用の有無で 10 分間走行を行った先行研究では、酸素摂取量や心拍数に有意差は認められなかったと報告しており⁷⁾、サージカルマスク着用が運動耐容能に及ぼす影響はないように結論付けられている。しかし、これらの先行研究は運動負荷が増強する試験や時間内試験に限定されており、定常運動負荷試験による検討は皆無である。

理学療法の場合において、運動耐容能の向上を目的に患者に処方する全身持久カトレニングは定常負荷で 20 分以上の実施が推奨されている⁸⁾。そこで、昨今サージカルマスクの着用を義務づけられた状態で理学療法を受けている患者において、推奨された時間の運動が実施できているかは疑問である。さらにサージカルマスク着用の有無による定常負荷での運動持続時間ならびに呼吸困難、脈拍数 (pulse rate; PR)、SpO₂ への影響については不明である。そこで本

研究では、サージカルマスク着用の有無が定常負荷での歩行運動の持続時間ならびに運動中の呼吸困難、PR、SpO₂などに与える影響について検討することを目的とした。

対象

本研究の趣旨を理解し、研究の参加に同意が得られた若年健常者 20 名(男性, 女性それぞれ 10 名)を対象とした。除外基準は、呼吸器疾患や循環器疾患の既往、過去および現喫煙者、気管支ぜんそくに関しては、1 年以内に症状が出現した者、運動器疾患によって本研究での運動負荷が困難な者とした。対象者には、本研究の目的および手順、内容、リスクについて口頭および文書で十分に説明し、書面にて同意を得た上で実施した。本研究は、長崎大学大学院医歯薬学総合研究科倫理委員会の承認を得て実施した(許可番号 21070808)。

方法

1. 研究デザインと実施手順 (図 1)

以下の測定を 3 日間に分けて実施した。1 日目、事前調査と自転車エルゴメータを用いた CPX を実施した。2 日目と 3 日目に行う定常負荷による歩行運動は、サージカルマスクの着用と非着用を封筒法によるランダム化クロスオーバーとした。

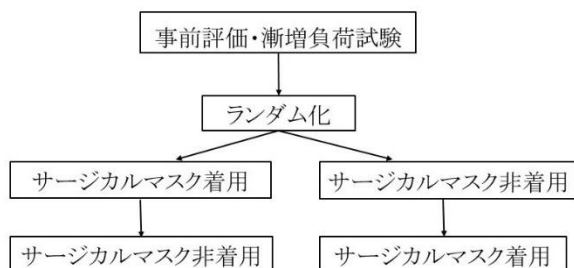


図 1 研究プロトコル

2. 測定項目

1) 事前評価

長崎大学医学部保健学科内部障害系理学療法学研究室にて、研究説明書を用いて測定の手順、目的、リスク等について十分なオリエンテーションを行った。その後、身長、体重、バイタルサイン、呼吸機能、呼吸筋力、下肢筋力を測定した。

① 呼吸機能: スパイロメータ(ミナト医科学社製、オートスパイロ AS-507)を用い、日本呼吸器学会の呼吸機能検査ガイドラインに従って、肺活量(vital capacity; VC)と予測値に対する割合(%VC)、1 秒量(forced expiratory volume in one second; FEV₁)、予測値に対する割合(%FEV₁)、1 秒率(forced expiratory volume in one second/forced vital capacity; FEV₁/FVC)、ピークフロー(peak expiratory flow rate; PEFR)を測定した。測定は 2 回行い、良好な値を解析に用いた¹⁰⁾。

② 呼吸筋力: 呼吸筋力計(木幡計器製作所製、呼吸筋力測定器 IOP-01)を用い、米国胸部学会/欧州呼吸器学会のガイドラインに従って、最大吸気圧(maximal inspiratory pressure, MIP)、最大呼気圧(maximal expiratory pressure, MEP)を測定した。測定は最低 2 回以上行い、測定機器による再現性の判定が「良好」となった時点での最大値を採用した¹¹⁾。

③ 下肢筋力: ハンドヘルドダイナモメーター(アニマ社製、μ-Tus)を用い、等尺性膝伸展筋力を測定した。測定は、利き脚に対して 30 秒以上の間隔をあけて 2 回ずつ行い、最大値を採用した¹²⁾。

2) 漸増運動負荷試験

定常負荷運動の歩行速度を決定するために、自転車エルゴメータ(COMBI 社製 232CXL9)を使用し CPX を実施した。負荷プロトコルは 20W/分のランプ負荷を適用し、回転数 50 回/分とした。試験中は、呼気ガス分析装置(ミナト医科学社製、エアロモニタ AE-300S)と心拍数モニター(ポラール社製心拍センサー H10)を装着し、呼吸・循環動態を連続的に測定した。運動終了基準は、対象者が症候限界に至った時点とし、中止基準は成書に従った。

3. 定常負荷歩行運動の測定プロトコル

1) 測定方法

安静座位 3 分終了後、トレッドミルを使用し 3km/時で 1 分のウォーミングアップ (W-up), その後、定常負荷運動を先行研究¹³⁾より最長 10 分、クーリングダウン (C-down) は 7.5km/時で 3 分の順で実施した (図 2・3). 終了後は 5 分間の安静座位にて症状等を観察した. 運動の強度は VO_2 peak の 80% に相当する歩行速度を適用した.

歩行速度は、下記の歩行運動の代謝式

$$VO_2 = (0.1 \times \text{速度}) + (1.8 \times \text{速度} \times \text{傾斜}) + \text{安静時}VO_2$$

をもとに男性、女性それぞれで一定の傾斜角度を算出し、その傾斜角度と 80% VO_2 peak の測定値を代入して決定した⁹⁾. 運動の中止は、Borg scale を用いて呼吸困難、下肢疲労感が 17 に達した場合、PR が最大心拍数の 85% に達した場合とした.

サージカルマスクは、FUJINAP soft surgical musk のレギュラーとスモールサイズを準備し、被験者に合わせて選択した. 装着はマスク上縁を目に近い位置にし、ノーズワイヤーをしっかりと顔に押しつけてブリーツを伸ばし、あごの下までカバーした.

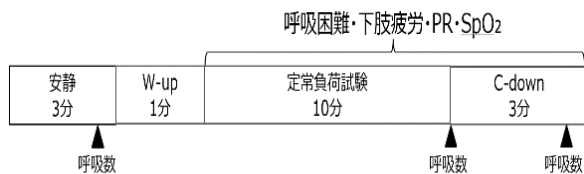


図 2 定常負荷試験プロトコル



図 3 定常負荷運動

2) 測定項目

- ① 呼吸困難・下肢疲労感: Borg Scale を用いて安静時、定常負荷運動開始から運動終了後 3 分までの間、30 秒毎に評価した.
- ② SpO_2 ・PR: パルスオキシメータ (帝人社 PULSOX-Me300) を用いて、安静時、定常負荷運動開始から運動終了後 3 分までの間、30 秒毎に測定した.
- ③ 血圧: 血圧計 (テルモ社製電子血圧計 H56) を用い安静時、C-down 終了時に測定した.
- ④ 呼吸数: 運動前安静時と運動終了直後、運動後 C-down 中に測定した.

4. 統計学的解析方法

サージカルマスク着用の有無での 2 条件における各測定項目の比較には、Wilcoxon 符号付順位検定を用いた. またサージカルマスク非着用条件と比較し、着用条件で運動持続時間が短縮した群を短縮群、変化しなかった群を非短縮群と定義し、2 群間での各測定項目の比較について Mann-Whitney の U 検定を用いた. 測定値は平均値±標準偏差、または中央値 [四分位範囲] で示し、統計学的有意水準は 5% とした. 上記の解析には、IBM SPSS Statistics ver.25 (IBM 社製) を使用した.

結果

1. 対象者背景

全対象者の事前評価ならびに CPX より算出された結果を表 1 に示す. なお、CPX の実施において有害事象等の発生は認めなかった.

2. 定常負荷試験の実施状況

2 条件での定常負荷試験においても、有害事象の発生はなく、全対象者が問題なく試験を完遂した. 運動の中止理由は、サージカルマスク着用時では呼吸困難または下肢疲労感が Borg scale 17 に達した者が 10 名、最大心拍数の 85% に達した者が 1 名、自己申告が 1 名、非着用時では呼吸困難または下肢疲労感による中止が 9 名、PR が最大心拍数の 85% に達した者が 1 名であった.

表 1 対象者背景

	全体 (n=20)	男性 (n=10)	女性 (n=10)
年齢, 歳	21.1±0.8	21.1±0.6	21.0±0.9
身長, cm	162.9±5.9	166.5±4.8	159.4±4.7
体重, kg	57.0±7.1	62.8±3.7	51.2±4.3
BMI, kg/m ²	21.5±2.0	22.7±1.6	20.1±1.9
VO ₂ peak, ml/kg/min	38.8±9.8	36.0±8.1	33.3±6.3
速度, km/h	6.5±1.5	6.8±1.7	6.1±1.3
VC, L	3.7±0.6	4.2±0.5	3.2±0.3
%VC, %	90±8.6	89±9.6	91±7.7
FEV ₁ , L	3.3±0.6	3.8±0.5	2.8±0.1
%FEV ₁ , %	91±8.0	90±10.7	92±4.2
FEV ₁ /FVC, %	88.2±5.5	88.6±4.2	87.8±6.7
MIP, cmH ₂ O	79.6±17.5	91.5±9.0	67.7±15.8
MEP, cmH ₂ O	107.0±32.7	130.4±25.8	83.6±19.2
下肢筋一体重比, kgf/kg	0.6±0.1	0.7±0.1	0.6±0.1

(平均値±標準偏差)

BMI: body mass index, VO₂peak: peak oxygen consumption, VC: vital capacity, FEV₁: forced expiratory volume in one second, FEV₁/FVC: forced expiratory volume in one second/ forced vital capacity, MIP: maximum inspiratory pressure, MEP: maximal expiratory pressure

3. サージカルマスク着用の有無での比較

マスク着用の有無で運動持続時間の中央値は、それぞれ 347 秒、540 秒であり、運動持続時間はマスク着用によって有意に短縮していた ($p<0.01$, 図 4)。マスク着用によって時間が短縮した者は 12 名、変化なしが 7 名、延長が 1 名であった。

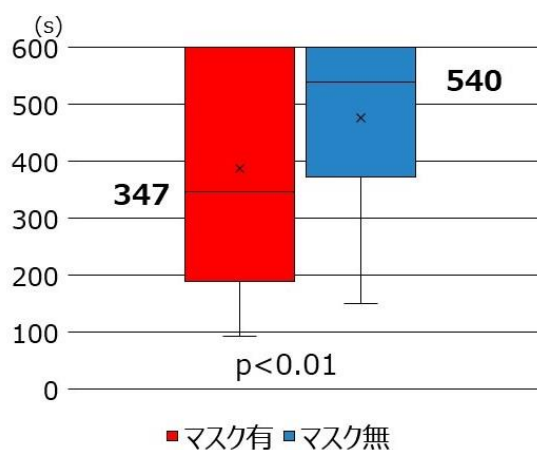


図 4 運動持続時間

呼吸困難はマスク着用で有意に増強し、SpO₂は有意に低下していたが ($p<0.01$, 0.05, 図 5・6), 下肢疲労感, PR において有意差は認められなかった(図 7・8)。さらに、呼吸困難の変化率を(終了時-開始時)÷運動時間(秒)の式より算出し比較した結果、マスク着用で有意に変化率が大きく、呼吸困難の上昇率が高い結果となった ($p<0.01$, 図 9)。

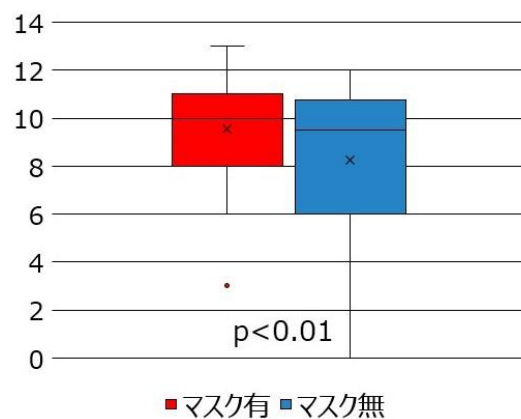
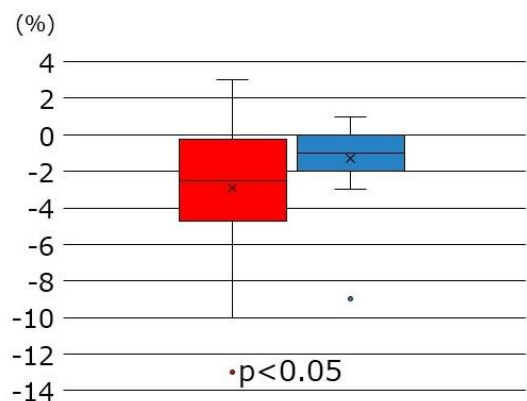
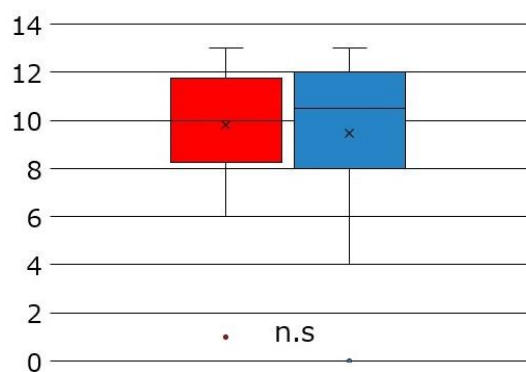


図 5 呼吸困難



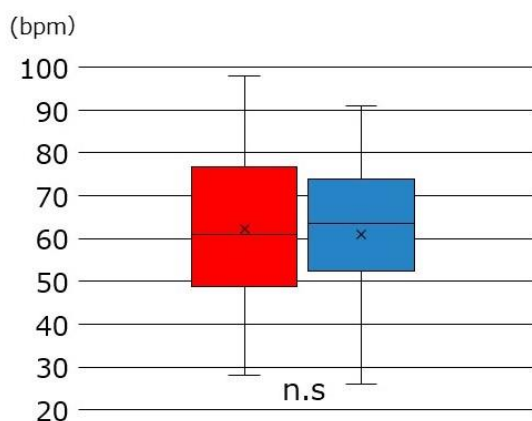
■マスク有 ■マスク無

図 6 SpO₂



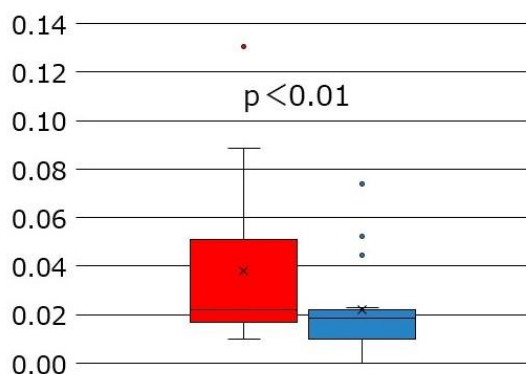
■マスク有 ■マスク無

図 7 下肢疲労



■マスク有 ■マスク無

図 8 PR



■マスク有 ■マスク無

図 9 呼吸困難変化率

表 2 各測定項目の比較

	短縮群 (n=12)	非短縮群 (n=7)	P 値
VE, L/min	67.4±23.2	53.4±25.8	0.167
V _T , ml	3220.8±736.4	2894.6±1118.4	0.261
%VC, %	89.3±9.8	91.1±6.8	0.967
%FEV ₁ , %	89.3±9.2	93.1±5.3	0.196
FVC, L	3.8±0.7	3.7±0.8	0.902
FEV ₁ /FVC, %	87.9±5.5	88.9±5.8	0.643
PEFR, L/s	7.3±2.0	6.4±2.4	0.432
MIP, cmH ₂ O	86.4±14.3	68.2±18.7	0.083
MEP, cmH ₂ O	112.6±31.6	99.0±37.1	0.432
下肢筋一体重比, kgf/kg	0.6±0.1	0.7±0.1	0.167

(平均値±標準偏差)

VE: minute ventilation, V_T: tidal volume, VC: vital capacity, FEV₁: forced expiratory volume in one second, FEV₁/FVC: forced expiratory volume in one second/ forced vital capacity, PEFR: peak expiratory flow rate, MIP: maximum inspiratory pressure, MEP: maximal expiratory pressure

4. 運動持続時間短縮群と非短縮群による測定項目の比較

サージカルマスク着用において%FEV₁と下肢筋一体重比は短縮群で低値を示し、MIP については短縮群で高値を示したが、いずれも有意差は認められなかった。その他の項目についても有意差は認められなかった。

考察

本研究は、サージカルマスクの着用の有無が高強度定常負荷歩行の持続時間、呼吸困難、PR、SpO₂などに与える影響について検討した。その結果、着用によって運動持続時間の短縮、呼吸困難の増強、SpO₂の低下を認めた。

一般的に運動すると呼吸中枢が刺激され呼吸仕事量が増大する。先行研究では、運動にサージカルマスクの着用が加わると呼吸抵抗が大きくなることで換気量が減少し、呼吸仕事量がさらに増大する。そのため酸素摂取量が制限されると共に呼吸筋の酸素消費量が増加することが報告されている。そして、この両者によって SpO₂ 低下をきたすと述べられている⁵⁾。本研究においても、サージカルマスク着用が非着用と比べ、SpO₂ が有意に低値を示し、呼吸困難も強く、その上昇率も高い結果であったことから、サージカルマスクの着用が先行研究と同様の機序によって運動持続時間の短縮をもたらしたと推察された。また、片山らの先行研究では過度の呼吸筋活動の増加は、呼吸筋由来の代謝受容器反射により活動筋の末梢血管を収縮させ酸素運搬を制限させるため、結果的に活動筋の早期疲労発現や持久性運動パフォーマンスの低下につながると報告されている¹⁴⁾ことから、マスク着用によって下肢疲労感も影響を受けると仮説を立てた。さらにマスクによる抵抗により酸素摂取量が減少することで交感神経が刺激され心拍数が上昇すると報告されている¹⁵⁾ことから、PR もマスクの影響を受けると推察していた。しかし、本研究でこれらに有意差は認められなかった。これは、今回 CPX と定常負荷試験では運動様式が異なっていたことが原因ではないかと考える。

また、サージカルマスク着用が運動持続時間

の変化と関連する項目の検討として対象者特性を比較検討した結果、運動時間短縮群と非短縮群で有意な相違は認められなかった。先行研究において、マスク着用によって気道抵抗が上昇するため、強い吸気筋力が必要であることに加え、運動中の換気量を増加させる際には呼吸抵抗が強くなることが報告されている¹⁶⁾。さらに、征矢らは運動中の換気量増大を補助するためには強い呼気筋力が必要であると述べている¹⁷⁾。加えて、一般的に下肢筋力と運動耐容能は関連する。これらのことから、マスク着用によって運動持続時間が短縮する対象者は短縮しない対象者と比較して、呼吸機能や呼吸筋力、さらには下肢筋力が低値であると仮説を立てた。しかし%FEV₁においては、時間減少群が低値ではあったが、すべての指標において有意差は認められなかった。これは定常負荷運動の最長運動時間を 10 分に設けたことで正確な運動持続時間を計測できていないことが原因ではないかと考える。

本研究の限界として、サンプルサイズが少ないこと、運動中に呼気ガス分析装置を装着しておらず、呼吸循環応答を調べていなかったためサージカルマスクが運動持続時間に与える機序については明らかにできなかったことなどが考えられた。しかし、サージカルマスク着用は運動時間や呼吸困難、SpO₂に影響を与えることが明らかとなった。今後は臨床応用のため呼吸・循環器疾患を有する患者や高齢者を対象として、同様の研究を行う必要がある。

まとめ

本研究は若年健常者を対象にサージカルマスク着用の有無が高強度の定常負荷歩行運動での運動持続時間、呼吸困難、PR、SpO₂などに与える影響について検討した。その結果、サージカルマスクを着用することによって、呼吸困難の増強、SpO₂の低下により、運動持続時間は短縮することが明らかとなった。このことから、サージカルマスク着用下で運動を行う際、自覚症状について、より注意深く観察し、運動負荷や時間などの設定には配慮が必要であると思われる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、研究の実施にご協力いただいた被験者の皆様、ご指導を賜りました内部障害理学療法学研究室の方々ならびに関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 厚生労働省: 新型コロナウイルス感染症について. https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000164708_00001.html (2021年3月15日引用)
- 2) 日本環境感染学会: 医療機関における新型コロナウイルス感染症への対応ガイド 第3版. http://www.kankyokansen.org/uploads/uploads/files/jsipc/CO_V_ID-19_taioguide3.pdf (2021年3月15日引用)
- 3) Li Y, Tokura H, et al.: Effects of wearing N95 and surgical facemasks on heart rate, thermal stress and subjective sensations. *Int Arch Occup Environ Health*. 2005; 78: 501-509.
- 4) Fikenzler S, Uhe T, et al.: Effects of surgical and FFP2/N95 face masks on cardiopulmonary exercise capacity. *Clin Res Cardiol*. 2020; 109: 1522-1530.
- 5) Kido S, Yu W, et al.: Cardiorespiratory response during combined training with breathing resistance and sustained physical exertion: a pilot study. *Physic Med Rehabil Res*. 2017; 2: 1-5.
- 6) Person E, Lemercier C, et al.: Effect of a surgical mask on six minutes walking distance. *Rev Mal Respir*. 2018; 35: 264-268.
- 7) 岩合昭直, 布施沙由理, 他: サージカルフェイスマスクを使用した走行が呼吸機能に及ぼす影響. *東洋大学大学院紀要*. 2012; 49: 321-332.
- 8) 日本理学療法士協会: 呼吸リハビリテーションのガイドライン 運動療法マニュアル. *理学療法学*. 2012; 31: 259-262.
- 9) 藤原誠助: 歩容変化を考慮した歩行運動に

おける運動強度推定式の作成. 東北大学大学院医工学研究科, 2016. <http://hdl.handle.net/10097/00120417>

- 10) 日本呼吸器学会肺生理専門委員会: 呼吸機能検査ガイドライン—スパイロメトリー, フローボリューム曲線, 肺拡散能力—. *メディカルレビュー社*, 東京, 2004.
- 11) American Thoracic Society/European Respiratory Society: ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002; 166: 518-624.
- 12) 山崎裕司, 長谷川輝美: 固定用ベルトを装着したダイナモメーターによる等尺性膝伸展筋力の測定. *高知リハビリテーション学院紀要*. 2001; 3: 7-11.
- 13) 田平一行, 原田鉄也, 他: 漸増運動負荷試験と高強度定常運動負荷試験の運動生理学的特徴 —酸素摂取量の視点から—. *日本呼吸ケア・リハ学誌*. 2014; 24: 252-257.
- 14) 片山敬章: 運動時の循環調節に対する呼吸筋活動の影響. *循環制御*. 2018; 39: 91-96.
- 15) 上野哲: マスク着用による生理学的負担. *日職災医誌*. 2021; 69: 1-8
- 16) Poon C. S: Optimal control of ventilation in hypoxia, hypercapnia and exercise. In *Modelling and Control of Breathing*, edited by B.J. Whipp and D.M. Wiberg. New York: Elsevier. 1983; 189-196.
- 17) 征矢英昭, 尾縣貢: 心臓, 肺, 血液のランニングへの適応. *中距離ランナーの科学的トレーニング*. 2001; 1: 108-133.

(指導教員 田中貴子)

発達症が疑われる 1 症例にみられたハイハイ動作の特徴について

～ハイハイ動作の変化過程を定型発達児と比較して～

江浦貴也・高見勇仁

要旨

我々の研究室では乳幼児のハイハイ動作の変化過程とその後の発達の関連を調べるとともに、感覚運動経験が発達に及ぼす影響について調査を行ってきた。その中で自閉スペクトラム症を強く疑われる児が存在したため、本研究の目的を、自閉スペクトラム症が疑われる 1 症例について、他の定型発達児のハイハイ動作の変化過程と比較し、その特徴を見いだすこととした。対象は研究に同意が得られた乳幼児の中で追跡可能な 16 名とした。結果として、今回対象とした自閉スペクトラム症疑い児には、足部の接地が足趾で行われていること、右肩が異常にあがること、ハイハイ動作自体は定型児と同様に一定の動作に収束することがわかった。このことから、自閉症児は感覚に対する過敏性があることや、片側の上肢の支持性が弱いことで左右非対称性の動きがみられること、また自閉スペクトラム症を疑われる児も、その児なりに適切な四つ這い動作を獲得していることが考えられた。今後、さらなる追跡調査により症例数を増やし、ハイハイにおける自閉スペクトラム症特有の新たな動作の発見により、自閉スペクトラム症の早期発見につながる可能性が示唆され、本研究はその先駆けになったと考える。

I. はじめに

ヒトの発達は中枢神経系の変化を背景にしており、その理論的背景は従来の神経成熟理論からダイナミックシステムズ理論 (dynamic systems theories) や神経細胞群選択理論 (Neuronal Group Selection Theory: NGST) へ移行している。なかでも NGST は人間の運動発達を理解するための枠組みとして多く使用されている¹⁾。NGST の運動学習における要素として、動きの種類である Variation、適切な動きを選択する能力である Variability、の二つの用語が多く使われる。乳幼児は様々な動作を獲得するにあたって、まず多彩な Variation を持ち、動作を重ねるごとに Variability が発達しその動作に対して適切な動きを選択し、Variation を減少させる。この動作の効率化は不必要な神経回路の刈込や強化によって起こり、より高度な運動や思考が可能となる。

神経発達学によると、乳幼児は出生後早期にすべての脳領域で神経回路が爆発的に発達し²⁾、生後 1 か月の乳児はすでに自発運動や動揺に対する反応行動の中で感覚情報をもとに姿勢の

コントロールをしている³⁾。また、感覚運動経験によって蓄積された運動スキルが新しい動作を学習する過程で効率的に利用される⁴⁾。

我々の研究室では、運動発達を NGST で説明する具体的な例として、長年ハイハイ動作の変化過程に注目した研究を行っている。ハイハイ動作に注目したのは、乳幼児が最初に獲得する移動手段の 1 つであること、日本において母子手帳に記載された 9～10 ヶ月でのチェックポイントにハイハイが含まれていること、この時期にシナプス密度が人生で最も高くなる時期とおおよそ一致していること、ハイハイ動作が身体を床から持ち上げるという抗重力活動に変化する動作であること、などの理由からである。

当研究室ではハイハイ動作の変化過程とその後の発達の関連を調べるとともにハイハイ動作による感覚運動経験が発達に及ぼす影響の追跡調査を行い、定型発達児のハイハイには多様性があり、その Variability には個人差があることを明らかにしてきた。

乳幼児は必ずこの経験を通して個人特有の

多くのレポートリーを持っており、適切な Variation を身体部分レベルで選択して、その Variation をくみあわせることでより高難度とされる運動スキルの四つ這いを獲得することができる。ずり這いに見られる多くの Variation が感覚運動経験として、四つ這いという新しい動作を獲得する過程で効率的に利用されることになる。四つ這いで感覚運動経験は、さらに効率の良い四つ這いや独歩の獲得のために必要な感覚運動経験となる。具体的には、乳幼児がハイハイなどの運動を行う時に、視覚、聴覚、表在感覚、深部感覚などの情報がそれぞれの伝導路を經由し、最終的にはその多くが頭頂葉の中心後回(1次体性感覚野)で統合され、統合された情報が前頭葉に送られる⁹⁾。この情報を基にプログラミングされた運動により、更なる感覚情報の入力を得て頭頂葉から前頭葉に送られる。この循環が感覚運動経験とされる。しかし、ずり這いのレポートリーが少なく不足していると Variation を効率的に選択することができず、多くの試行錯誤を必要とする。

当研究室の追跡調査のなかで、自閉スペクトラム症を強く疑われる児が存在した。そこで本研究の目的を、発達症が疑われる1症例について、他の定型発達児のハイハイ動作の変化過程と比較し、その特徴を見いだすこととした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は、当研究室により2015年から2020年までに定期的に撮影されたハイハイ動作をコード化したデータ42名分であった。撮影は、長崎市近郊の保育園を利用している乳児および本研究室に継続的な訪問が可能な乳児で、本研究に関する説明を受け、研究協力を保護者の同意を得て行われた。撮影の時点では、神経学的・整形学的に問題のない乳児であった。

2. 撮影方法

同意が得られた児のハイハイ動作を6台のWebカメラ(IO DATE製Qwatch型番TS-WLCAM)で同時に撮影した。カメラは正方形の四つ角に4台、支柱の約175cmの高さに2台設置し、可能な限り前後左右、上方からの動



図1 撮影方法

○:カメラの位置

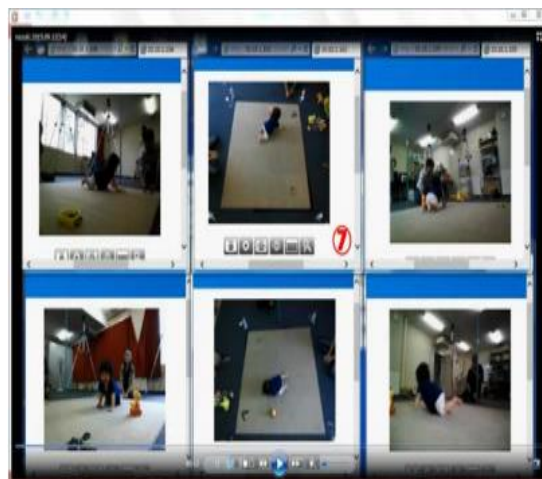


図2 編集された動画例

作が映るよう同時に6方向から撮影した(図1)。

撮影の間隔は1~2週間で、撮影期間は研究参加への同意が得られてから独立歩行獲得までとした。

3. コード化

本研究では、ハイハイ動作を歩行周期に準じて定義し、対象児の右(または左)上肢が床から離れた時点から、移動のための体幹の動きが見られ、再び右(または左)上肢が床から離れるまでを1サイクルとしている。

撮影された動画は、分析対象となっている場面が明確となるように、画面内に何サイクル目かを表示するように編集した(図 2)。

動画を再生しながら評価用紙にサイクルごと各項目の数字を記入していく(動作のコー化)。撮影動画の分析には当研究室が開発した「ハイハイ動作分析基準(第 6 版)」⁹⁾を用いた。この分析基準は、三次元動作解析機のような大掛かりな装置を使用せず、場所を問わず乳幼児の自然なハイハイ動作を分析でき、保育士や保護者などの動作分析について専門的な知識がない者でも扱えるというコンセプトの元に考案された。コード化に関する項目は大項目 I～IV、小項目計 24 項目からなる(表 1)。

各小項目に 5～7 個の選択肢を設定し、その中から検査者が判断したものを選択しコード化を行うものとする。選択肢の中には、動画の角度等により観察ができないためにコード化できない場合に選択する「0. コード化できない」、基準の中に適切な選択肢がない場合に選択する「9. コードに該当するものがない」を各小項目の中に入れていく。

4. 追跡調査

撮影を行った児の発達が定型か否かを調べるために 2 歳以降になった際に日本語版 DENVER II による評価を行った。DENVER II は、子どもの年齢が長じるにつれて発達する種々の行動を「個人・社会」、「微細運動/適応」、「言語」、「粗大運動」の 4 分野に分類し、それぞれの行動について 25%～90%の達成率を示す標準枠を階段状に図示してある。各分野についてそれぞれの対象児の年齢に合わせて評価を実施し、発達の判定については、

- 1) 正常:遅れが 1 つもなく、要注意が 1 項目以下である場合。
- 2) 疑い:2 つ以上の要注意、および/または 1 つ以上の遅れがある場合。
- 3) 判定不能:年齢線より完全に左側にある項目、あるいは 75%から 90%の間に年齢線がある項目のうち 1 つ以上拒否があるとき⁹⁾。とした。

追跡調査は、撮影間隔が 2 週間を超えた 19 名および転園等 3 名を除いた児に対して行い、5

表 1 ハイハイ動作分析基準の項目

I. ハイハイのパターンおよび上肢の使い方に関する項目	
-1.	ハイハイの種類
-2.	右上肢の使い方(支持期)
-3.	左上肢の使い方(支持期)
-4.	上肢の動かし方
-5.	上下肢の動かし方の組み合わせ
-6.	上下肢を動かすタイミング
II. 頭部の位置および動きに関する項目	
-1.	右上肢を前に出す時(左上肢で支持している時)の頭の傾き方
-2.	右上肢が床に着いた時の頭の上がり方
-3.	左上肢を前に出す時(右上肢で支持している時)の頭の傾き方
-4.	左上肢が床に着いた時の頭の上がり方
-5.	身体を前進させる時の頭の動き
III. 体幹の動きに関する項目	
-1.	右上肢を前に出す時(左上肢で支持している時)の上部体幹の傾き方
-2.	左上肢を前に出す時(右上肢で支持している時)の上部体幹の傾き方
-3.	右下肢を前に出す時(左下肢で支持している時)の下部体幹の傾き方
-4.	左下肢を前に出す時(右下肢で支持している時)の下部体幹の傾き方
-5.	脊柱の伸展
-6.	右下肢を前に出す時(左下肢で支持している時)の脊柱の側彎
-7.	左下肢を前に出す時(右下肢で支持している時)の脊柱の側彎
IV. 下肢の使い方に関する項目	
-1.	右下肢の支持の仕方(左下肢を前に出すとき)
-2.	左下肢の支持の仕方(右下肢を前に出すとき)
-3.	右下肢が床についた時の膝の位置
-4.	左下肢が床についた時の膝の位置
-5.	右足部の使い方
-6.	左足部の使い方

名に発達の遅れが疑われた。その中の 1 名は、専門家からの助言により自閉スペクトラム症が強く疑われることが判明した。

5. データ分析

ハイハイ動作の撮影が 2 週間以上の間隔を開けずに実施され、追跡調査が実施できた 20 名から日本語版 DENVER II により発達の遅れが疑われる児を除いた 15 名を定型発達児とし、自閉スペクトラム症が強く疑われる児とのハイハイのコード内容について、以下の比較検討を行った。

各体節(上肢・下肢・頭部・体幹)の動作のバリエーション数(コードの種類の数)を集積し、乳児ごとに集積したコードの四つ違い段階を前半と後半に分け、頻出するバリエーションを比較した。

I. ハイハイのパターンおよび上肢の使い方に関する項目	
I-1. ハイハイの種類	
0.	コード化できない
1.	ずり這い
2.	四つ這い
3.	跪行
9.	コードに該当するものがない
I-2. 右上肢の支持の仕方(左上肢を前に出す時)	
0.	コード化できない
1.	手支持
2.	前腕支持
3.	肘支持
4.	上肢により明確に上体が持ち上げられていない(支持側の上腕が接地している)
9.	コードに該当するものがない
I-3. 左上肢の支持の仕方(右上肢を前に出す時)	
0.	コード化できない
1.	手支持
2.	前腕支持
3.	肘支持
4.	上肢により明確に上体が持ち上げられていない(支持側の上腕が接地している)
9.	コードに該当するものがない

図 3 動画分析(コード化)の流れ

図3は上肢における動作評価の例(一部抜粋で、項目I-1が四つ這い、項目I-2が手支持(右)、項目I-3が手支持(左)の場合、「211」というコードになる。そして上肢・下肢・頭部・体幹それぞれのコードをつなぎ合わせ1つのバリエーションとした。

なお、バリエーション数の集積にあたっては、撮影日に見られたバリエーション数をただカウントするのではなく、前回の撮影日までに見られたバリエーション数(バリエーションの種類の数)に加算する形をとった。

本研究は、長崎大学医歯薬学総合研究科倫理委員会の承認を得て行っている(承認番号18061431)。

III. 結果

定型発達児15名と自閉スペクトラム症疑い児1名に見られたコードを頻出順に並べ、下肢の使い方に関するコードのみをまとめたものを表2に示す。コードのうち下2桁が足部の接地の仕方、定型発達児は多くが「1」であり足背接地をしていることが分かる。また、定型発達児の中には片足を足背、片足を足底でハイハイをしている児もいる。対して、自閉スペクトラム症疑い児はすべてのコードにおいて「2」とされ、足趾で接地を行っている。

下肢のコードと同様に定型発達児と自閉スペクトラム症疑い児で体幹のコードの比較を行ったものを表3に示す。定型発達児は上位12種類のコードで上2桁とも「2」であるコードが見られ、上肢を前に出す時に両側とも体幹の傾きがほぼ変わらず、左右対称な動きが確認できる。対して、自閉スペクトラム症疑い児は、上位12種類のうち8種類の上1桁目が「1」であり、これは右上肢を前に出す時上部体幹の傾きで右肩が明らかに上がっている状態である。しかし、上2桁目が「2」とされており、左上肢を前に出す時体幹の傾きがほぼ変わっていない状態にある。このことから、自閉スペクトラム症疑い児は体幹の動きに左右差が見られる。

表4は、自閉スペクトラム症疑い児のコードを撮影時期によって前半と後半に分けたものを示している。前半では12種類のコードが見られたが、後半では3種類しか見られなかった。同じコ

表2 下肢コード

定型発達児	自閉症疑い
2211 11	2211 22
2211 11	2211 22
2211 11	2211 22
2211 11	2211 22
2211 31	2211 22
2211 12	2211 22
2211 11	2211 22
1211 31	2211 22
2211 11	2211 22
2211 31	2211 22
2211 31	2211 22
2211 1	2211 22

表3 体幹コード

定型発達児	自閉症疑い
22 22233	22 22233
22 22244	22 22233
22 22233	12 22233
22 22244	12 22231
22 22233	12 21321
22 22233	12 21321
22 22200	12 22223
22 12233	22 21233
22 22233	22 12233
22 12233	12 22222
22 22233	12 12233
22 22144	12 22213

表4 自閉症疑い児のコード

前半コード	後半コード
211121131312222233221122	211121131312222233221122
21112111111222231221122	21112111111222233221122
21112113131221231221122	21112113131222233221122
21112111111221231221122	
2111211111122223221122	
21112111111222233221122	
211121131312221233221122	
211121111112212233221122	
2111211111122222221122	
21112113131221233221122	
21112113131222213221122	
21112113131222233221122	
合計:12種類	合計:3種類

ードタイプは同じ色で囲っており、後半で見られるコードは前半でも確認できた。

IV. 考察

表 2 で得られた結果より、定型発達児は足部の接地を足背や足底で行うことが多く見られたが、自閉スペクトラム症疑い児は足部の接地すべてを両側足趾で行っていた。これは、自閉スペクトラム症児が感覚刺激に対する過敏性を持つことで、接地面の広い足背や足底では触覚が過敏に働くために、その逃避反応として足趾で接地を行ったと考える。先行研究より、自閉スペクトラム症は情報統合においていない情報にフィルタリングができず、本来なら無視できるような刺激に対しても反応してしまう⁷⁾という報告からも、この自閉スペクトラム症疑い児の足趾接地の 1 例が感覚に対する過敏性を持つことが考えられる。

次に表 3 で得られた結果より、定型発達児は上部体幹の動きに対称性が見られた。しかし、自閉スペクトラム症疑い児は右上肢を前に出す際に、体幹部の傾きで右肩が明らかに上がっており、左上肢を前に出す際の左肩はほぼ変わらず、体幹の動きに非対称性が見られた。これは、自閉スペクトラム症の特徴としてみられる左右非対称性の運動によるものだと考える。先行研究の自閉スペクトラム症児の 1 例において、片側の上肢のみを使って物を把持する⁸⁾という報告がされている。今回の症例でも、左上肢のみでものを把持する傾向があり、左上肢の支持性が弱いのではないかと考えた。これにより体幹が左側に傾き、ハイハイ動作の中で右上肢が大きくあがるという動作が発現したと考えた。

また表 4 より、前半には 12 種類のコードが見られ、後半には 3 種類のコードが見られた。ハイハイ動作を始めた頃は Variation が多いが、その状態から刈込みを行い、徐々に適切なハイハイの動作を獲得するという定型発達児と同じ過程を示している。このことから、自閉スペクトラム症疑い児も定型発達児と同様に Variability が成熟していると考えた。しかし先行研究より、自閉スペクトラム症はセロトニンの異常によって引き起こされる可能性があると考え、セロトニンの枯渇が原因で体性感覚皮質の錐体ニューロンの樹状突起の減少につながるとされている⁹⁾。そのため、セロトニンの異常によって刈込みが行われる際に、定型発達児とは異なる動作の Variation を選択しており、Variation の選択性が定型発達児よりも弱い

ということが考えられた。

V. 結語

今回の自閉スペクトラム症疑い児のハイハイのコードから、足趾の接地や左右非対称性の体幹の動きが見られた。先行文献より自閉スペクトラム症児の動きは様々とされ⁸⁾るが、今回の研究では対象児が少なかったことや、自閉スペクトラム症の特徴とされる感覚障害において感覚検査ができていないことが限界としてあげられる。今後、追跡調査を継続していくことで、新たに自閉スペクトラム症児特有の動作の発見や感覚との関連性を見つけ、自閉スペクトラム症の早期発見につながっていく可能性が示唆された。その中で、今回の研究が先駆けになったと考えた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、指導いただきました鶴崎俊哉准教授をはじめ、協力いただきました母子の皆様、育園の職員様一同に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Edelman GM: Neural Darwinism. The Theory of Neuronal Group Selection. Oxford University Press. Artificial Intelligence, 1989, pp.121-136.
- 2) Huttenlocher PR, Dabholkar AS: Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. J Comp Neurol. 1997; 387: 167-178.
- 3) Dusing SC, Theresa A: Commentary on “Differences in Function Among Children With Sensory Processing Disorders, Physical Disabilities, and Typical Development”, Pediatric Physical Therapy. 2013; 25: 322.
- 4) Yamamoto S, Yonghi L, et al.: Diversity and regularity in infant crawling with typical development. J Phys Ther Sci. 2020; 32: 483-488.
- 5) 加藤則子: 発達及び知能検査 DENVERII デンバー発達判定法: 小児内科, 特集 小児科医ができる発達検査・心理検査. 2018; 50: 1370-1373.
- 6) 寺尾安生, 宇川義一, 他: 皮膚感覚入力と運

- 動野(正常と異常):臨床神経生理学. 2000;
28:209-217.
- 7) 鶴崎俊哉, 寺尾瞳:ハイハイ動作分析基準の
開発と研究. 理学療法科学. 2017; 32: 323-
383.
- 8) Teitelbaum P, Teitelbaum O, et al.: Movement
analysis in infancy may be useful for early di-
agnosis of autism: Psychology and Child Psy-
chiatry, University of Florida, 1998, pp.
13982-13987.
- 9) 権田裕子, 花嶋かりな: 軸索ガイダンス分子
Robo1 の大脳皮質形成における役割:日本
生物学的精神医学会誌. 2020;31:98-105.

(指導教員 鶴崎俊哉)

寒冷療法単独および寒冷療法と温熱療法の併用が ラット有痛性癒痕モデルにおよぼす影響

江島千尋・吉梅智恵

要旨

各種外科手術後に発生することがある有痛性癒痕は慢性術後疼痛の一要因であり、その発生には創傷治癒の遷延化が関与していると考えられている。一方、物理療法は創傷治癒促進を目的に広く適用されているが、有痛性癒痕に対する効果は明らかにされていない。そこで、本研究では寒冷療法単独および寒冷療法と温熱療法の併用がラット有痛性癒痕モデルにおよぼす影響について検討した。その結果、寒冷療法と温熱療法を併用すると、寒冷療法を単独で適用した場合と比べて皮下組織における線維性組織の増生が抑制され、痛覚閾値が早期に改善することが明らかとなった。これらのことから、寒冷療法と温熱療法の併用は有痛性癒痕の発生予防に有用であると推察される。

はじめに

一般に、各種外科手術後では組織侵襲に起因する急性痛が発生するが、これは多くの場合創傷治癒が進むにつれて軽減・消失していく。しかし、何らかの原因で痛みが長期間残存し、慢性術後疼痛に発展することがあり、その原因の1つとして有痛性癒痕の発生が指摘されている^{1,2)}。外科手術後における有痛性癒痕に関する先行研究を概観すると、Maroonら¹⁾は腰椎ヘルニア術後に硬膜外に生じる線維化が著しいほど痛みが強くなると報告している。また、乳房切除術1年以上経過した患者の約34%に有痛性癒痕が認められている²⁾。そして、このような有痛性癒痕は患者の日常生活活動(activity of daily living; ADL)や生活の質(quality of life; QOL)の低下を招くことが示されている³⁾。したがって、外科術後の有痛性癒痕の発生を予防するような介入手段の確立は術後慢性疼痛の予防の観点から重要な課題といえる。

これまで、有痛性癒痕の発生機序については十分に明らかにされていないが、炎症の持続が関与する可能性が示唆されている⁴⁾。通常、損傷組織では血小板由来成長因子(platelet-derived growth factor; PDGF)や形質転換成長因子(transforming growth factor; TGF)- β 1の作用に

よりマクロファージが集積し、血腫が形成される。そして、マクロファージが産生する線維芽細胞増殖因子(basic fibroblast growth factor; bFGF)の作用により血腫内に線維芽細胞が集積し、これがコラーゲンを産生することで肉芽組織の形成が進む。そして、肉芽組織においてタイプIIIコラーゲンからタイプIコラーゲンへのリモデリングが進行することで正常な癒痕組織へと成熟し、組織は修復される。しかし、炎症が著しい場合や持続する場合、マクロファージや線維芽細胞の集積が著しくなるためコラーゲンが過剰に増生されるようになり、結果、異常な癒痕組織が形成される⁵⁾。そして、有痛性癒痕の病態について検討した先行研究では、前述のような癒痕組織内では一次侵害受容ニューロンの興奮性の増大を惹起するニューロペプチドYやコレシストキニン、サブスタンスPの発現が増加する可能性が示唆されている⁶⁾。これらの知見に基づくと、各種外科手術後における有痛性癒痕の発生を抑制するためには、炎症を早期に軽減し、適切な増殖期の反応を促すことが重要といえる。

一方、組織損傷後の創傷治癒促進を図る理学療法介入の1つに物理療法があり、炎症期では寒冷療法、増殖期以降では温熱療法が広く適用されている。寒冷療法の生物学的効果について検討した先行研究⁷⁾では、カラゲニン誘発性ラ

ット膝関節炎モデルの炎症期に1日1回20分(7日間)の寒冷療法を適用すると、患部の組織学的な炎症が軽減し、痛みが早期に改善することが明らかとなっている。したがって、組織損傷後の炎症期に適用する寒冷療法は損傷組織の炎症の早期沈静化に有用であるといえる。また、一般に温熱療法には血管新生作用や血流増加作用があり、増殖期以降の創傷治癒過程を促進するとされている⁸⁾。つまり、組織損傷後の炎症期に寒冷療法を適用し、その後の増殖期以降に温熱療法を適用することで、炎症期から成熟期までの創傷治癒過程が円滑に進行し、その結果、有痛性癬痕の発生を予防できるのではないかと仮説できる。しかしながら、このような寒冷療法と温熱療法の併用効果については検証されていない。そこで、本研究では寒冷療法単独および寒冷療法と温熱療法の併用がラット有痛性癬痕モデルにおよぼす影響について検討した。

予備実験

本実験における寒冷療法および温熱療法のプロトコルを決定するために、以下の予備実験を実施した。

1. 寒冷療法および温熱療法による足底の皮下組織温度の変化の検討

本実験において実施する寒冷療法および温熱療法によって足底部の皮下組織温度がどのように変化するかを確認する目的で以下の実験を行った。

1) 実験プロトコル

① 動物実験

実験には7週齢のWistar系雄性ラット5匹を用いた。

② 寒冷療法の方法

寒冷療法の方法は、Sasakiら⁷⁾の先行研究を参考に実施した。具体的には、3種混合麻酔薬(塩酸メドミジン0.375mg/kg, ミタゾラム2mg/kg, 酒石酸ブトルフェノール2.5mg/kg)をラットの腹腔内へ投与して麻酔した後、水温を約10℃に設定した冷水内に右足部のみを浸漬することで寒冷療法を施行した。

③ 温熱療法の方法

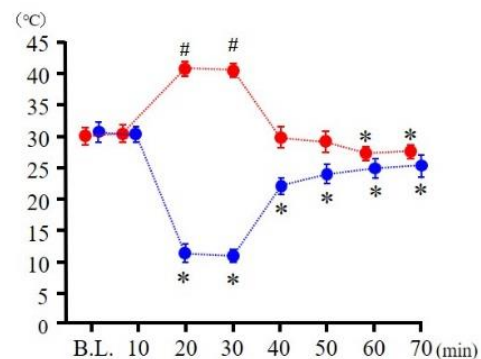
Miwaら⁹⁾によると、40℃の温水に10分以上浸漬すると、皮膚温および深部体温の上昇、皮膚血流量の増加が認められている。そこで、これを参考に温熱療法は以下のように実施した。すなわち、前述した方法にて麻酔を行った後、水温を約40℃に設定した温水内に左足部を浸漬することで施行した。

2) 皮下組織温度の測定方法

麻酔下の各ラットに対して、21Gの注射針を用いて足底の踵部の皮膚にピンホールを作成し、そこからニードル型プローブを刺入した。そして、10分間の安静、20分間の寒冷療法および温熱療法の施行中ならびに施行後40分間について足底の皮下組織の温度の推移を1分毎に計測した。計測には、高精度熱電対温度計PTC-300(UNIQUE MEDICAL社)を用いた。

3) 結果

安静時は約30℃で推移し、その後、寒冷療法施行中には約20℃の低下が認められた。寒冷療法施行後は速やかに上昇し、約20℃に達したが、その後40分が経過しても25℃であり、安静時と比べて施行中および施行後は有意に低値を示した(図1)。一方、温熱療法施行中は約10℃の上昇が認められたが、施行後は速やかに30℃まで低下した。安静時と比べて温熱療法施行中は有意に高値を示し、施行10分後および20分後では安静時と有意差を認めなかったが、施行30分後および40分後では安静時と比べて有意に低値を示した(図1)。



青:寒冷療法, 赤:温熱療法.

*:寒冷療法時の安静時との有意差 ($p < 0.05$)

#:温熱療法時の安静時との有意差 ($p < 0.05$)

図1 足底の皮下組織温の推移

2. ラット有痛性癬痕モデルの炎症期の期間に関する検討

本研究で採用するラット有痛性癬痕モデルの炎症期の期間を明らかにするため、炎症の指標となる赤血球沈降速度(erythrocyte sedimentation rate; ESR)を測定した。

1) 実験プロトコル

① 動物実験

実験には7週齢のWistar系雄性ラット5匹を用いた。

② ラット有痛性癬痕モデルの作製方法

ラット有痛性癬痕モデルはLiら⁹⁾の先行研究を参考に作成した。すなわち、前述の方法にて麻酔を行った後、ラットの右足底の踵部から21Gの注射針を用いて皮膚にピンホールを作成し、そこから直径1.5mmの金属棒を挿入し足底部の皮膚と皮下組織を剝離する処置(以下、外科処置)を施した。なお、前述の先行研究⁹⁾では本処置を施すことで皮下組織における結合組織の増生が認められ、5週間にわたって痛覚閾値が低下することが示されている。

2) 評価方法

実験期間中はWestergren法を用いてESRを測定した。具体的には、ディスポーザブル赤沈管(ベネフィット社)を用い、尾静脈より採取した血液を赤沈管に吸い上げ、その60分後の血漿層の長さを求め、ESRを算出した。なお、測定は外科処置を行う前日(base line; B.L.)ならびに外科処置後1・7・14日目に行った。

3) 結果

外科処置後1日目ではB.L.と比べて有意に高値を示した。また、外科処置後7日目では外科処置後1日目と比べて低下していたものの、B.L.と比べて有意に高値を示した。そして、外科処置後14日目にはB.L.と同程度まで低下しており、有意差は認められなかった(図2)。以上の結果より、本モデルでは外科処置後7日目までは患部の炎症が持続しており、14日目の時点において鎮静化していることが示唆され、本研究で採用したラット有痛性癬痕モデルの炎症期の期間は外科処置後14日間と定義した。

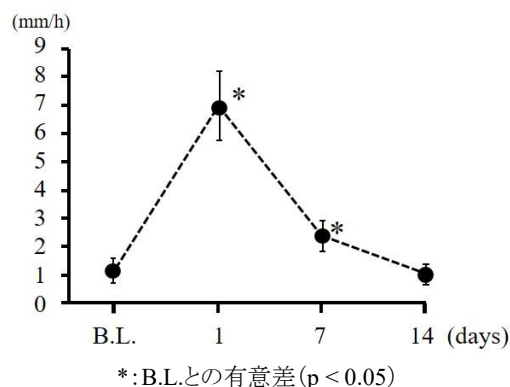


図2 赤血球沈降速度の推移

本実験

前述した予備実験の結果を踏まえて、以下に述べる方法にて寒冷療法単独および寒冷療法と温熱療法の併用がラット有痛性癬痕モデルにおよぼす影響について検討した。

材料と方法

1. 実験動物

実験には7週齢のWistar系雄性ラット22匹を用い、これらを①右足底に有痛性癬痕を形成するための外科処置を施した後、通常飼育する外科処置群(n=6)、②外科処置後、炎症期に寒冷療法を施し、その後、通常飼育する寒冷療法群(n=5)、③外科処置後、炎症期に寒冷療法を施し、その後、温熱療法を施す併用群(n=6)、④外科処置に対する疑似処置を施し、通常飼育する疑似処置群(n=5)に振り分けた。なお、本研究は長崎大学動物実験委員会で承認を受けた後、同委員会が定める動物実験指針に準じ、長崎大学先端生命科学支援センター・バイオメディカルモデル動物研究センターにおいて実施した(承認番号:第2009301665号)。

2. ラット有痛性癬痕モデルの作製方法

外科処置群および寒冷療法群、併用群の各ラットに対しては、予備実験と同様の方法にて麻酔を行った後、有痛性癬痕モデルを作製するための外科処置を施した。なお、疑似処置群のラットに対しては、同様の手順で右足底の踵部にピンホールの作成のみを行った。

3. 寒冷療法の方法

予備実験の結果を踏まえ、寒冷療法は麻酔下にて約 10°C の冷水に右足部を 1 日 20 分(週 5 回)浸漬することで実施した。なお、予備実験の結果より、本実験で採用したモデルの炎症期が 14 日間であることを踏まえ、寒冷療法は外科処置後 2 日目から 14 日目まで実施した。

4. 温熱療法の方法

温熱療法は麻酔下にて約 40°C の温水に右足部を 1 日 20 分(週 5 回)浸漬することで実施した。なお、予備実験の結果より、本実験で採用したモデルの炎症期が 14 日間であることを踏まえ、温熱療法は外科処置後 15 日目から 28 日目まで実施した。

5. 痛みの行動学的評価

実験期間中は以下の方法にて患部である右足底部の機械的刺激に対する痛覚閾値を評価した。具体的には、覚醒下のラットを底面が網状の自作のアクリルケージ内に入れ、10 分間の安静を保った。その後、Von Frey 式感覚測定装置(HITC Life Science 社)を用いて、両側足底部に機械的刺激を加え、後肢の逃避反応が出現する際の加圧重量(g)を測定した。なお、測定は外科処置および疑似処置の前日、処置後、1 日目、4 日目、7 日目、その後は 7 日毎に 28 日目まで行った。また、測定は 1 匹につき 5 回行い、最大値と最小値を除外した 3 回分の値の平均値を算出し、これを各個体のデータとして採用した。

6. 試料作成および組織学的検索

実験期間終了後には、各ラットに対して安楽死処置を行った後、速やかに右足底の皮膚・皮下組織・足底筋を一塊として採取し、4%パラホルムアルデヒドに 24 時間浸漬することで組織固定を施した。その後、10%・20%・30%スクロース溶液に順に浸漬し、O.T.C コンパウンドを用いて凍結包埋した。そして、10 μ m 厚の横断凍結切片を作成し、ヘマトキシリン&エオジン(Hematoxylin & Eosin; H&E)染色に供し、光学顕微鏡下にて観察した。

7. 統計学的解析

足底部の機械的刺激に対する痛覚閾値の比較には、二元配置分散分析を適用し、検定において有意差を認めた場合は、事後検定として Scheffe 法を適用した。なお、有意水準は 5%未満とした。

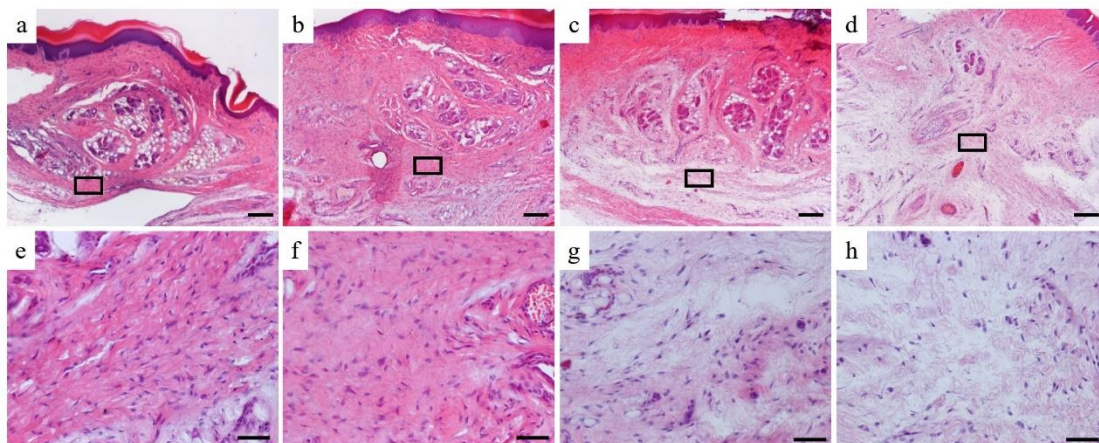
結果

1. 足底部の組織学的所見

疑似処置群の染色像を観察すると、正常な角質層や表皮、真皮層が認められ、これらの下層には脂肪細胞が分布する皮下組織が認められた(図 3a, e)。これに対して、外科処置群の染色像では、疑似処置群と比べて皮下組織の脂肪細胞が萎縮・減少している所見が伺え(図 3b)、また、皮下組織の著しい肥厚と多数の細胞集積が認められた(図 3f)。一方、寒冷療法群の染色像では、外科処置群と同様に皮下組織における脂肪細胞の萎縮・減少(図 3c)および皮下組織の肥厚が認められたが、線維性組織は粗であり、また、集積する細胞は少ない傾向にあった(図 3g)。そして、これらの所見は寒冷療法群と比べて併用群においてより顕著に認められた(図 3d, h)。

2. 足底部の機械的刺激に対する痛覚閾値

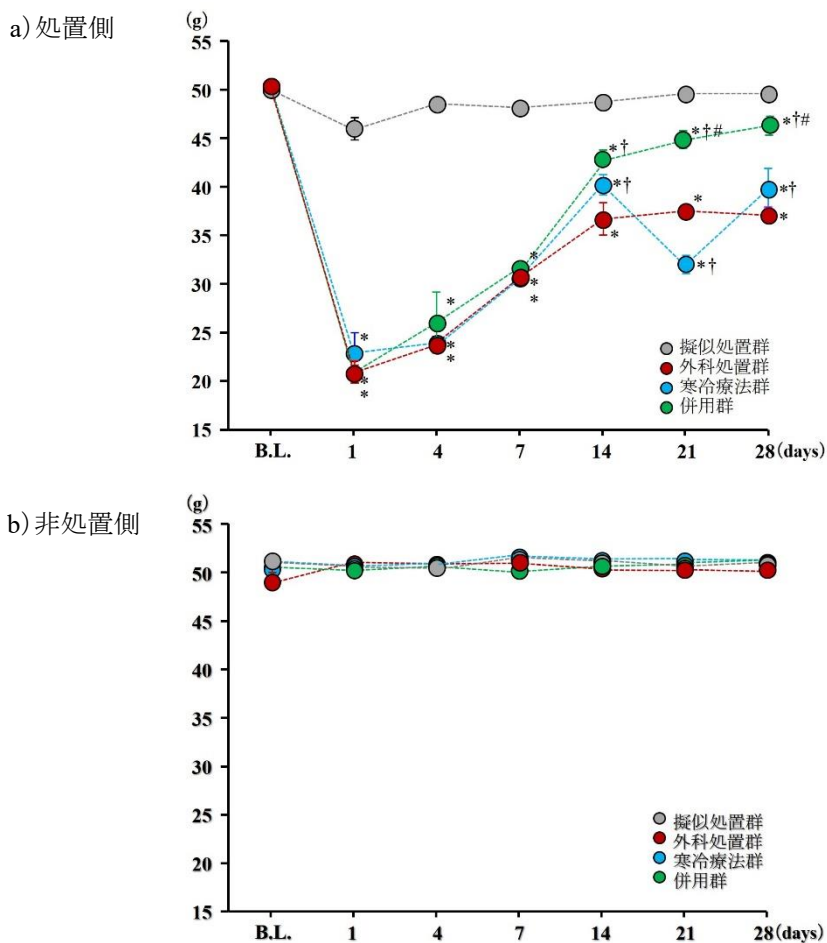
右側足底部の機械的刺激に対する痛覚閾値について、疑似処置群は実験期間を通じてほぼ一定の痛覚閾値を示した。一方、外科処置群および寒冷療法群、併用群は外科処置後 1 日目から 28 日目まで疑似処置群と比べて有意に低値を示した。そして、これら 3 群を比較すると、外科処置後 1 日目から 7 日目までは有意差を認めなかったが、14 日目においては寒冷療法群および併用群は外科処置群と比べて有意に高値を示し、この 2 群間には有意差は認められなかった。また、外科処置後 21 日目においては、寒冷療法群は外科処置群と比べて有意に低値を示したが、併用群は外科処置群と比べて有意に高値を示した。そして、外科処置後 28 日目においては、併用群は外科処置群および寒冷療法群と比べて有意に高値を示した(図 4a)。一方、左側足底部の機械的刺激に対する痛覚閾値について、4 群とも実験期間を通じてほぼ一定の値を示し、各群間に有意差は認められなかった(図 4b)。



a, e: 擬似処置群, b, f: 外科処置群, c, g: 寒冷療法群, d, h: 併用群
 上段は40倍で観察した所見であり, 下段は上段の黒枠内を200倍で観察した所見である.

scale bar; 上段:200 μ m, 下段:50 μ m

図3 右側足底の組織学的所見



*: 擬似処置群との有意差, †: 外科処置群との有意差, #: 寒冷療法群との有意差, $p < 0.05$

図4 足底部の機械的刺激に対する痛覚閾値の推移

考察

本研究では、慢性術後疼痛の発生要因と考えられている有痛性癭痕に対する物理療法の効果を明らかにするため、寒冷療法単独および寒冷療法と温熱療法の併用がラット有痛性癭痕モデルにおよぼす影響について検討した。

まず、外科処置群の H&E 染色像では、皮下組織における脂肪細胞の萎縮・消失や顕著な線維性組織の増生を伴う肥厚化が認められた。これらの所見は、外科処置によって足底の皮下組織に過剰な癭痕組織が形成されたことを示唆しているといえる。また、外科処置群の右側足底部の機械的刺激に対する痛覚閾値の推移をみると、外科処置後 1 日目から 28 日目まで擬似処置群のそれと比べて有意に低値を示しており、今回の外科処置に起因する急性痛が遷延化することが示唆された。マウス有痛性癭痕モデルを作製した先行研究⁶⁾では、皮下組織における線維化の発生と外科処置後 5 週目まで持続する痛覚閾値の低下が認められている。つまり、外科処置群では癭痕形成に伴って痛覚閾値の低下が持続しているといえ、本研究で作製したラット有痛性癭痕モデルは実験モデルとして妥当であったといえる。また、寒冷療法群および併用群における外科処置後 1 日目の右側足底部の機械的刺激に対する痛覚閾値は、外科処置群のそれと有意差を認めなかったことから、外科処置を施した 3 群では同程度に有痛性癭痕形成の処置が施されたと推測される。

次に、寒冷療法を施行した寒冷療法群および併用群の H&E 染色像では、皮下組織における脂肪細胞の萎縮・消失や肥厚は外科処置群と同程度に認められた。しかしながら、肥厚部における線維性組織は外科処置群と比べて粗な分布状況を示し、また、細胞集積も軽度であることが伺えた。一方、右側足底部の機械的刺激に対する痛覚閾値の推移をみると、外科処置後 14 日目においては、寒冷療法群および併用群は外科処置群と比べて有意に高値を示した。これらの結果から、組織損傷の炎症期に寒冷療法を適用すると有痛性癭痕の形成が軽度となることが示唆された。所属研究室の先行研究⁷⁾では、カラゲニン誘発性ラット関節炎モデルの炎症期に寒冷療法

を施行すると、患部である滑膜の組織学的な炎症が軽減し、患部の痛みが早期に改善することが明らかとなっている。これらの知見に基づく、本研究の寒冷療法群と併用群では外科処置後の炎症期に寒冷療法を施行したことで、損傷部である皮下組織の炎症が抑制され、その結果、有痛性癭痕の形成が軽度となったことで痛覚閾値の改善が良好であったのではないかと推察される。ただ、外科処置後 21 日目の痛覚閾値をみると、併用群は外科処置群と比べて有意に高値を示したが、寒冷療法群は外科処置後と比べて有意に低値を示した。この点について、寒冷療法終了後に通常飼育に移行した寒冷療法群では、増殖期へ移行できず炎症が再燃した可能性が考えられる。しかし、予備実験では、ESR は外科処置後 14 日目には処置前と同程度まで低下していたことを踏まえると、炎症が再燃した可能性は低く、詳細については今後の検討課題である。

次に、併用群の H&E 染色像では皮下組織の肥厚部における線維性組織の分布は寒冷療法群と比べて粗な状態を示し、細胞集積も軽度であることが伺えた。また、外科処置後 28 日目における右側足底部の機械的刺激に対する痛覚閾値は、寒冷療法群のそれと比べて有意に高値を示した。これらのことから、外科処置後の炎症期に寒冷療法のみを実施するよりも、寒冷療法に加えて炎症期以降に温熱療法を実施した方が有痛性癭痕の形成は軽度になることが示唆された。一般に、温熱療法には血流量増加作用があるため、創傷治癒過程の増殖期では炎症細胞や発痛物質の除去、肉芽組織の形成促進、血管新生といった生物学的変化が促進されるとされている¹⁰⁾。また、成熟期ではタイプ III コラーゲンからタイプ I コラーゲンへのリモデリングに対しても好影響をもたらすとされている¹⁰⁾。これらのことを踏まえると、併用群では寒冷療法に続いて温熱療法を負荷したことで前述したような増殖期以降における生物学的変化が促進され、寒冷療法群と比べて有痛性癭痕の形成が軽度となり、その結果として痛覚閾値の改善が良好だったのではないかと推察される。

しかしながら、最近の基礎研究では、筋損傷モデルの炎症期にアイスパックを用いた寒冷療

法を負荷すると、損傷部へのマクロファージの浸潤が抑制されるため、壊死細胞の除去が進まず、その結果、筋線維の再生が遅延することが示されている¹¹⁾。つまり、寒冷療法は創傷治癒を遅延させる可能性があり、本研究における寒冷療法群および併用群で認められた肥厚部における線維性組織の分布が粗であった所見は、創傷治癒過程の進行が遅延していることを示唆している可能性も考えられる。この点を明らかにするためには、増殖期から成熟期にかけて合成されるコラーゲンの動態やその代謝にかかわるマトリクスマタロプロテアーゼの動態などを生化学的手法や分子生物学的手法を用いて検討する必要がある。また、損傷組織における炎症細胞の動態や痛覚閾値の低下を惹起する疼痛関連分子の動態についても検討できておらず、これらは本研究の限界であり、今後の検討課題である。

今回の結果から、外科処置後の炎症期に寒冷療法を適用し、その後の増殖期に温熱療法を適用すると、寒冷療法のみを適用した場合と比べて有痛性癭痕の形成が軽度となることが明らかとなった。これらは、各種外科手術後に施行する寒冷療法および温熱療法の有用性を示唆する基礎的なデータであり、今後は生物学的機序を明らかにするために詳細な検討を実施し、各種外科手術における慢性術後疼痛予防戦略としての物理療法のエビデンス構築に寄与したい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導・ご協力くださいました長崎大学大学院医歯薬学総合研究科運動障害リハビリテーション学研究室の諸先生方に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Maroon JC, Abla A et al.: Association between peridural scar and persistent low back pain after lumbar discectomy. *Neurol Res.* 1999;21: 43-46.
- 2) Dieterich M, Allmendinger S et al.: Prevalence, clinical significance and risk factors for developing scar pain and sensibility disorder in breast cancer patients after breast-conserving therapy and mastectomy. *Breast Care.* 2021; 16: 507-515.
- 3) 中村里衣子, 行木香寿代, 他: 肘部管症候群に対する神経移行術に生じた難治性癭痕痛の1症例. *日本ペインクリニック学会誌*, 2016; 23: 49-52.
- 4) Ogawa R: Keloid and hypertrophic scars are the result of chronic inflammation in the reticular dermis. *Int J Mol Sci.* 2017; 18:606. doi: 10.3390/ijms18030606.
- 5) Wynn TA, Ramalingam TR: Mechanisms of fibrosis: therapeutic translation for fibrotic disease. *Nat Med.* 2012; 18: 1028-40
- 6) Li Y, Iida H, et al.: Establishment of a mouse model for injury-induced scar formation and the accompanying chronic pain: Comprehensive microarray analysis of molecular expressions in fibrosis and hyperalgesia. *Mol Pain.* 2019; 15: 1744806919892389.
- 7) Sasaki R, Sakamoto J, et al.: Effects of Cryotherapy Applied at Different Temperatures on Inflammatory Pain During the Acute Phase of Arthritis in Rats. *Phys Ther.* 2021; 101: pzaa211.
- 8) 坂本淳哉: 軟部組織損傷に対するリハビリテーションの考え方. 運動器の傷害と機能障害. 沖田 実・坂本淳哉(編). 三輪書店, 東京, 2021, pp103-105.
- 9) Miwa C, Matsukawa T, et al: Human cardiovascular responses to a 60-min bath at 40 degrees C. *Environ Med.* 1994; 38: 77-80.
- 10) 沖田 実: 末梢組織に対するリハビリテーション. ペインリハビリテーション. 松原貴子, 沖田 実, 森岡 周(編), 三輪書店, 東京, 2011, pp304-326.
- 11) Kawashima M, Kawanishi N, et al.: Icing after eccentric contraction-induced muscle damage perturbs the disappearance of necrotic muscle fiber and phenotypic dynamics of macrophages in mice. *J Appl Physiol.* 2021; 130: 1410-1420.

(指導教員 坂本淳哉)

姿勢の相違が健常者の運動後呼吸困難の回復過程に及ぼす影響

金城友也・柴田寛斗

要旨

本研究の目的は、立位、座位、側臥位での姿勢の違いが運動後呼吸困難の回復にどのように影響するのかを明らかにすることである。若年健常者 20 名を対象に、最高酸素摂取量の 80%に相当する負荷強度で一段階運動負荷試験を 5 分間実施した。運動終了後は各姿勢にて、呼吸困難、下肢疲労感、心拍数、呼気ガス分析から得られる各種指標を測定し、運動後の回復過程の比較を行った。結果、呼吸困難の回復時間は座位と比較して側臥位で有意に長かった。また、心拍数の回復は側臥位において有意に低値を示した。下肢疲労感、呼吸数の回復では 3 つの姿勢で有意差は認められなかった。以上の結果より、労作時呼吸困難の回復のための姿勢として、側臥位は不利である可能性が示唆された。

はじめに

呼吸困難とは、換気に伴って自覚する不快な症状の総称であり、理学療法の臨床現場においては、呼吸器または循環器疾患患者を中心に、しばしば問題となる自覚症状である。特に運動時や動作時に生じる労作時呼吸困難は、患者の活動を制限するとともに、身体活動量の低下を招き、廃用性の運動機能低下を引き起こす¹⁾。そのため、理学療法臨床において呼吸困難への対応は重要な目標となる。

理学療法には、労作時呼吸困難を軽減する手段があり、呼吸法やペーシングなどがその代表である²⁾。これらの方法は労作時呼吸困難の発生を予防する目的で適用される。また、呼吸困難を生じた際には徒手呼吸介助法³⁾やパニックコントロールという手段もあり、呼吸困難の自己管理としてもその指導が重要となる。

労作時呼吸困難を生じた際には、特定の姿勢をとることによって、その軽減に有用であることも知られている³⁾。代表的なものとして、上肢で体幹を支持する前傾座位や立位、壁に寄り掛かった立位などは慢性閉塞性肺疾患患者の呼吸困難を有意に軽減することが知られている。萩野ら⁴⁾は同患者を対象に、前傾座位によって呼吸困難が有意に軽減することを報告し、松下ら⁵⁾は健常者に対し車輪付き歩行器を使用して、上肢で

体幹を支持する姿勢が、胸郭の拡張に寄与することで高肺気量位の呼吸様式になることを示している。しかしながら、立位、座位あるいは臥位といった姿勢「単独」の相違が呼吸困難の軽減や回復にどのような影響を及ぼすのかは不明な点が多い。

姿勢の相違による呼吸困難への影響については、健常者を対象としたいくつかの研究報告がある。佐藤ら⁶⁾は、前傾立位と自然立位で運動後の換気量、酸素摂取量(oxygen consumption; 以下、 $\dot{V}O_2$)および心拍数(heart rate; 以下、HR)の推移を比較しており、前傾立位で HR の回復が速かったと報告している。また、茂内ら⁷⁾は亜最大運動後に立位と座位で佐藤らと同様の指標とともに呼吸困難の推移を比較し、座位において HR の回復が早く、低値であったことを示した。しかし、これらの報告^{6,7)}は、いくつかの課題や疑問が残されている。まず、これらは座位と立位の比較のみであり、臥位との比較を含めて検討されていない。呼吸機能は姿勢に大きく影響を受けることが知られている。臥位に着目すると、松本ら⁸⁾は臥位に比べ座位が、臥位の中では腹臥位に比べ側臥位が努力性肺活量や 1 秒量において有意に高値であることを報告している。また、側臥位は背臥位に比べて胸腔内圧が低く、呼吸中の肺気量位が高いことも示していた。さらに同姿勢

勢は腹腔内圧も低く、背臥位の際にみられる呼吸終末の顕著な上昇も見られず、肺の拡張という面において有利であるとされる⁸⁾。したがって、臥位では側臥位が呼吸機能にて有利であると考えることができ、労作時呼吸困難の回復や軽減において、同姿勢が有用である可能性が挙げられる。

2点目として、各指標の測定時間が運動後3, 6, 9分と長時間であり、3分以内といった短時間でどのように回復あるいは推移したかが評価されていない。3点目として、これらはいずれもトレッドミルを使用した運動負荷であり、歩行速度は時速約5kmで5分間という負荷条件と、Bruceのプログラムを用いた多段階運動負荷試験を適用し予測最大心拍数の85%に到達するまでの負荷と、大きく異なっており、健常者に対して呼吸困難を誘発するための負荷強度が適切であったか疑問が残るところである。

そこで本研究では、呼吸器疾患のない健常者を対象として、立位、座位とともに、側臥位を加えて姿勢の違いが運動後呼吸困難の回復にどのように影響するかを明らかにすることを目的とした。これが明らかになることで、運動療法をはじめとする理学療法の臨床現場における呼吸困難発生時の対応や、対象者への指導に役立つ可能性が期待できる。

対象

本研究の趣旨を理解し、同意が得られた健常者20名(男性、女性それぞれ10名)を対象とした。除外基準は呼吸器疾患(気管支喘息に関しては1年以内に症状が出現した者)や循環器疾患の既往、研究参加日の前日に行った活動による倦怠感や疲労感、筋痛が残存する場合、過去1週間以内に上気道炎に罹患し、症状が残存する者、喫煙歴(過去・現喫煙)がある者とした。対象者には、本研究の目的および手順、内容、リスクについて口頭および文書で十分に説明し、書面にて同意を得た上で実施した。本研究は、長崎大学大学院医歯薬学総合研究科倫理委員会の承認を得て実施した(許可番号21070809)。

方法

1. 実施手順

本研究では、事前調査、漸増運動負荷試験(cardiopulmonary exercise test; 以下、CPX)および一段階運動負荷試験を実施した。測定の初日は事前調査とCPXを、2日目以降に一段階運動負荷試験を3回実施し、運動後の回復姿勢を立位、座位、側臥位として、呼吸困難をはじめとする項目を評価した。これらすべての測定は、24時間以上の間隔を空けて実施し、3つの姿勢の条件は封筒法によるランダムな順序とした。

2. 事前調査

長崎大学医学部保健学科内部障害系理学療法学研究室にて、研究説明書を用いて対象者に各測定の目的、手順、リスク等について十分なオリエンテーションを行った。その後、問診とともに、身長、体重、バイタルサインを測定した。

3. 漸増運動負荷試験

一段階運動負荷試験の運動強度を決定するために、自転車エルゴメーター(COMBI 社製232CXL)によるCPXを実施した。負荷プロトコルには20W/分の漸増ランプ負荷を適用し、回転数は50回/分とした。試験中は、呼吸ガス分析装置(ミナト医科学社製エアロモニタ AE-300S)にて $\dot{V}O_2$ ならびに換気諸量を、心電図モニター(フクダ電子社製 FUKUDA M-E BIO-SCOPE M100)を用いてHRを連続的に測定した。また、試験開始から1分毎に修正 Borg スケールにて呼吸困難と下肢疲労感を対象者より聴取した。試験終了基準は、対象者が症候限界に至った時点とし、中止基準は成書⁹⁾に従った。

4. 一段階運動負荷試験

1) 測定方法および運動後回復過程の姿勢

自転車エルゴメーターを使用し、安静1分、強度20Wでウォーミングアップ1分間の後、定常負荷による運動を5分間、クールダウンを30秒間行った(図1)。その後、自転車エルゴメーターから降車し、3種類のうち事前に決められた姿勢を5分間保持し、後述する測定指標の推移を評

価した。なお、運動強度は CPX にて得られた最高酸素摂取量(以下 $\dot{V}O_2$ peak)の 80%に相当する負荷強度(W)を適用し、回転数は 50 回/分とした。5 分間の運動で、その継続が困難となった場合は、対象者の自己申告によって途中での終了を許可した。

運動負荷終了後の各姿勢について、立位は体幹の前傾支持なし、壁などによりかからない直立姿勢とした。足幅は肩幅と同じ間隔とし、上肢は自然に下垂した状態とした。座位では、足底が

完全に接地する椅子座位とし、背もたれには寄りかからず、体幹の前傾や上肢による支持はなく、足幅は肩幅と同じ間隔とし、上肢は自然に下垂した状態とした。側臥位は、両側の股関節および膝関節をそれぞれ 90 度屈曲位、両側の肩関節も 90 度屈曲位として体幹の前方に置くようにした。体幹はベッド面に対して垂直とし、頸部は正中位、肩甲帯と骨盤が回旋しないようにした。なお、同姿勢は対象者の好む向きとし、右または左のいずれでも可とした。

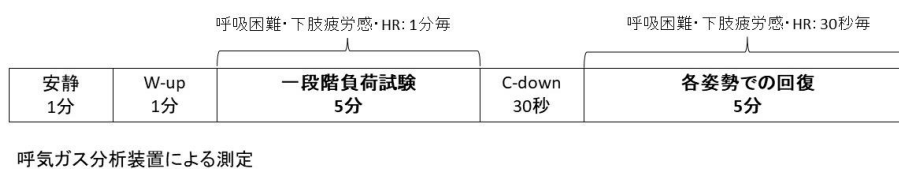


図 1 一段階運動負荷試験のプロトコル

2) 測定項目

①呼吸困難・下肢疲労感

修正 Borg スケールを用いて、安静時および負荷試験開始から終了時までには 1 分毎、クールダウン終了直後から回復の 5 分間は 30 秒毎に対象者から聴取した。

②心拍数

前述の心電図モニターにて連続的に測定、呼吸困難・下肢疲労感と同様に測定、記録した。

③呼吸数、酸素摂取量および換気諸量

呼吸ガス分析装置を用いて、呼吸数 (respiratory rate; 以下, RR), $\dot{V}O_2$, 分時換気量 (minute ventilation; 以下, \dot{V}_E), 1 回換気量 (tidal volume; 以下, V_T), 二酸化炭素換気当量 (\dot{V}_E /carbon dioxide output; 以下, $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$), 死腔換気率 (ratio of dead space to tidal volume; 以下, V_D/V_T) を HR と同様に連続的に測定した。

5. 統計学的解析方法

運動後回復過程の姿勢の相違による呼吸困難の解析は、安静時の修正 Borg スケールと同値となるまでの回復時間を同定し、Bonferroni 法で補正した Wilcoxon 符号付順位検定にて比較した。なお、時間内に呼吸困難が安静時と同値まで回復しなかった対象者では、回復時間を 5 分

(300 秒)とした。下肢疲労感も同様に解析した。

また、呼吸困難の回復との関連性を確認する目的で、HR と RR の回復推移についても解析した。この比較には、姿勢の相違と時間を因子とした反復測定の二元配置分散分析を実施した。測定項目はすべて平均値±標準偏差にて示し、統計学的有意差は 5%とした。上記の解析には統計解析ソフトウェア IBM SPSS ver. 27 を使用した。

結果

1. 対象者の背景

事前調査ならびに CPX の結果を 20 名の全対象者と性別ごとに表 1 に示す。なお、CPX では 2 名が実施直後に気分不良を訴えたが、その他は有害事象を認めずに完遂できた。

2. 一段階運動負荷試験の実施状況

運動後の回復過程を各姿勢で評価する際に実施した一段階運動負荷試験の結果を表 2 に示す。運動持続時間、試験終了時の $\dot{V}O_2$, \dot{V}_E , $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ ならびに V_D/V_T には 3 回の実施ですべて有意差を認めなかった。つまり、運動負荷を同様に適用することができたと言える。また、一段階運動負荷試験を 5 分間完遂できた対象者は、

全姿勢が6名、立位が7名、座位が10名、側臥位が11名であった。

3. 各姿勢による呼吸困難の回復過程の比較

図2のaに示すように、立位、座位においては運動終了後60秒以降から修正Borgスケールの値が比較的速やかに低下していくのに対し、側臥位では呼吸困難の回復推移が立位、座位に比べて高値を示していた。また、図2のbに示す回復時間の比較では、座位236±57.8秒と比較して、側臥位264±59.7秒と有意に長かった(p=0.015)。立位では242±47秒であり、立位と座位、立位と側臥位では有意差を認めなかった。

4. 各姿勢による下肢疲労感の回復過程の比較

図3のaの通り、運動終了後30秒の時点では立位と側臥位が高値を示していたが、その後

は3姿勢すべてが同様の回復推移を示した。また図3のbに示す回復時間の比較では、側臥位(251±60.9秒)で回復が速い傾向にあったが(立位264±52.5秒、座位260±54.7秒)、3群間でいずれも有意な相違を認めなかった。

5. 各姿勢による心拍数と呼吸数の回復推移

同様に両者の回復推移を図4に示す。HR(図4-a)では、有意な主効果を認めた(p=0.031)。主効果は姿勢の相違という単独の因子の効果を示す。HRは、側臥位での回復が速やかで、回復後30秒以降、一貫して低値であった。また、この3姿勢による回復の経時的変化では、有意な交互作用を認めず、同様の経時的な変化であった。RR(図4-b)については、運動後60秒以降、立位で多い傾向にあったが、有意な主効果と交互作用を認めず、3姿勢で同様の推移を示した。

表1 対象者背景

	全体 (n=20)	男性 (n=10)	女性 (n=10)
年齢, 歳	21 ± 0.9	21 ± 0.8	21 ± 0.9
身長, cm	163 ± 5.3	166 ± 3.5	159 ± 4.5
体重, kg	57 ± 7.0	63 ± 3.2	51 ± 4.0
BMI, kg/m ²	21.5 ± 1.9	22.8 ± 1.0	20.2 ± 1.6
$\dot{V}O_2$ peak, ml/kg/min	38 ± 10.7	42 ± 11.8	33 ± 6.0
W peak, W	165 ± 45.9	199 ± 34.3	130 ± 21.2

平均値±標準偏差, BMI: body mass index, $\dot{V}O_2$ peak (oxygen consumption): 最高酸素摂取量, W peak: 最高仕事量

表2 一段階運動負荷試験の実施結果

	立位	座位	側臥位
運動持続時間, 秒	233 ± 56.6	254 ± 51.9	246 ± 66.4
$\dot{V}O_2$, ml/kg/min	39.0 ± 11.5	38.0 ± 11.7	41.4 ± 12.3
\dot{V}_E , L/min	53.2 ± 15.0	54.6 ± 14.2	55.6 ± 14.0
$\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$	24.6 ± 4.7	25.9 ± 5.8	25.2 ± 7.0
V_D/V_T	0.25 ± 0.04	0.26 ± 0.02	0.26 ± 0.03

平均値±標準偏差, $\dot{V}O_2$ (oxygen consumption): 酸素摂取量, \dot{V}_E (minute ventilation): 分時換気量, $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ (\dot{V}_E /carbon dioxide output): 二酸化炭素換気当量, V_D/V_T (ratio of dead space to tidal volume): 死腔換気率

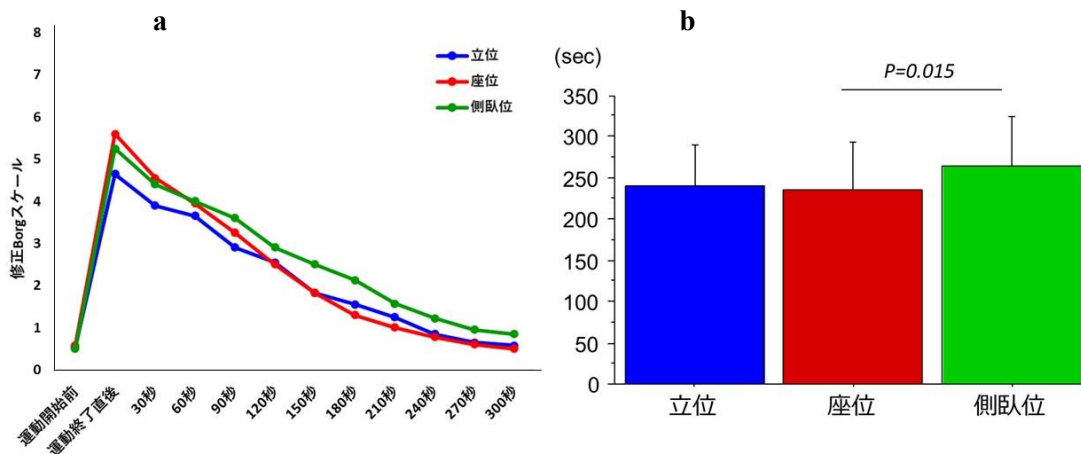


図2 呼吸困難の回復推移(a)と回復時間(b)

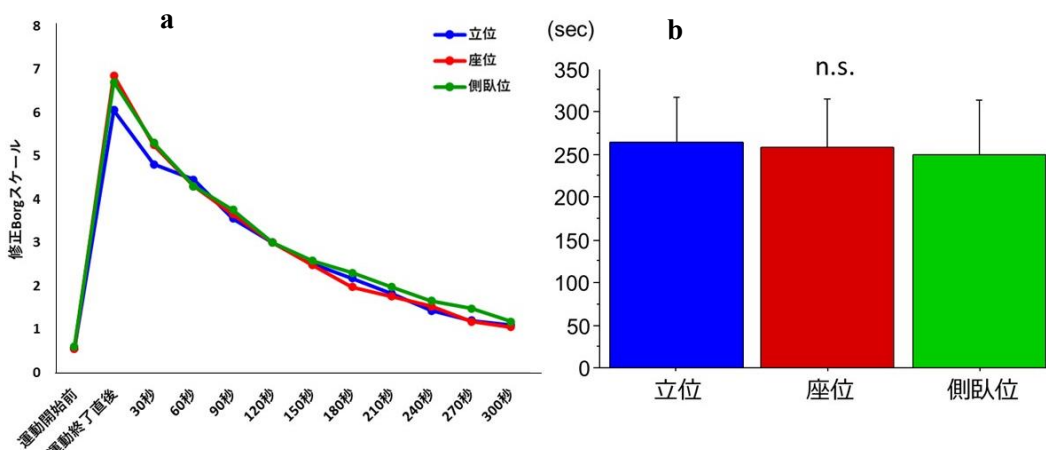


図3 下肢疲労感の回復推移(a)と回復時間(b)

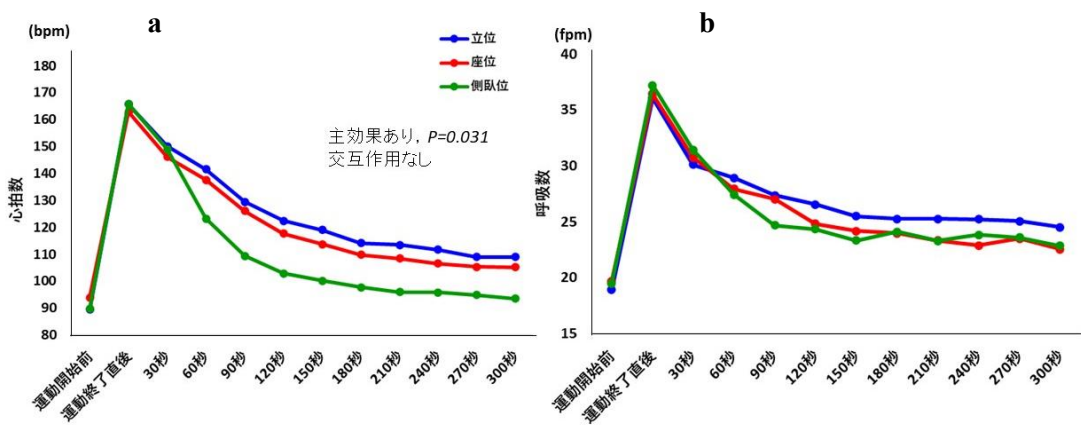


図4 心拍数(a)と呼吸数(b)の回復推移

考察

本研究では若年健常者を対象に、立位、座位側臥位による姿勢の違いが、運動後の呼吸困難の回復にどのように影響するのかを検討した。その結果、呼吸困難の回復時間は座位と比較して側臥位が有意に長い結果であった。また、心拍数の回復推移においては、側臥位が有意に低値を示した。

まず、呼吸困難に関して、運動後に呼吸困難を自覚する場合は、努力呼吸パターンとなる。この呼吸パターンでは頸部や肩甲帯といった胸郭に付着部を有する呼吸補助筋群が動員されて、胸郭をより挙上、拡張させる呼吸運動となる。その際、座位では胸郭の運動は制限されない。しかし、側臥位では、腹部臓器による横隔膜への圧排や、下側になった胸郭が圧迫されるため、努力呼吸に必要な胸郭の拡張運動が制限される。さらに、下側になった肺は縦郭の重みが増えることもこの結果に影響すると考えた。このことが側臥位での呼吸困難の回復に影響を及ぼした可能性があるかと推察した。私たちは、側臥位での呼吸機能の優位性が、運動後の呼吸困難回復にも有用である可能性を考えたが、その努力呼吸パターンの際には不利益であり、その優位性は安静時に限定されるのではないかと考えた。

次に、HR が側臥位にて他の 2 つの姿勢と比較して低値で推移した要因について、Frank-Starling 機序¹⁰⁾から考察した。これは、心臓への流入血液量が増加すると心筋収縮力が増大すること、言い換えると静脈還流量が低下すると心拍出量が低下することである。これは、1 回拍出量が低下することを意味しており、心拍出量を維持するために HR の上昇によって代償される。立位、座位では重力の影響により、心臓に流入する血液量も減少する。そのため心筋収縮力が低下し、1 回拍出量の減少、HR の増加が生じやすくなる。一方で、側臥位はこのような重力の影響がほぼ取り除かれるため、静脈還流量の減少は生じにくく、1 回拍出量が維持された結果、HR の速やかな減少をもたらしたのではないかと考察した。

本研究の限界として、まず今回の研究は健常者を対象としており、高齢者や呼吸器疾患患者にその結果を適用できるかは不明であるという点

がある。次に、一段階運動負荷試験で、運動を 5 分間実施することができなかった対象者が少なかつたため、負荷強度あるいは時間の設定が高かつた可能性があつた。また、対象者の主観的な評価、すなわち各姿勢の終了後にどの姿勢で呼吸が楽であつたかといった順位付けの調査を行うことで、修正 Borg スケールによる評価とは異なる視点で各姿勢の評価が可能であつたと考えた。加えて、対象者数が 20 名であり、3 つの姿勢の回復過程を解析する上では、対象者数が十分ではなかつたのではないかと考えた。

まとめ

本研究では健常者を対象として、立位、座位、側臥位による姿勢の違いが運動後呼吸困難の回復にどのように影響するのかを検討した結果、座位と比較して側臥位が有意に時間を要した結果であつた。今後、臨床にて労作時呼吸困難を生じた際に、回復姿勢として側臥位は呼吸困難の回復において不利である可能性が示唆された。また、今後の研究の展開として、呼吸器疾患患者を有さない高齢者を対象としたり、上肢で体幹を支持する前傾姿勢や壁に寄り掛かつた姿勢の影響に関する検討を行う必要があると考えた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、研究の実施にご協力いただいた研究対象者の皆様、ご指導をいただきました本学大学院医歯薬学総合研究科内部障害理学療法学研究室の方々には厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Ramon MA, Ter Riet G, et al. The dyspnoea-inactivity vicious circle in COPD: development and external validation of a conceptual model. *Eur Respir J*. 2018; 52: 1800079.
- 2) Bott J, Blumenthal S, et; British Thoracic Society Physiotherapy Guideline Development Group. Guidelines for the physiotherapy management of the adult, medical,

- spontaneously breathing patient. *Thorax*. 2009; 64 Suppl 1: i1-51.
- 3) 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会, 日本呼吸器学会, 日本リハビリテーション医学会, 日本理学療法士協会(編):呼吸リハビリテーションマニュアルー運動療法ー第2版. 照林社, 東京, 2012, pp.35-41.
 - 4) 荻野智之, 間瀬教史, 他: 上肢支持前傾姿勢は動的肺過膨張の軽減に有効か: 慢性閉塞性肺疾患患者 2 例による検討. *臨床理学療法研究*. 2016; 33: 19-22.
 - 5) 松下和弘, 野添匡史, 他: 歩行車歩行姿勢による肺気量位と呼吸運動の変化. *日本私立医科大学理学療法学会誌*. 2008; 25: 41-44.
 - 6) 佐藤 悠, 飯田佳世, 他: 運動後回復過程における呼吸循環反応の前傾立位姿勢による影響. *日本呼吸管理学会誌*. 2003; 12: 326-329.
 - 7) 茂内 卓, 佐々木誠, 他: 亜最大運動後回復過程における生体反応・息切れ感の立位と座位の姿勢での相違. *理学療法科学*. 2020; 35: 431-434.
 - 8) 松本匠平, 玉木 彰, 他: 体位の違いが咳嗽・呼吸機能に与える影響. *日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌*. 2019; 28: 85-90.
 - 9) 吉尾雅春, 高橋哲也, 他: 内部障害理学療法. 医学書院, 東京, 2013, pp.52-59.
 - 10) 吉尾雅春, 高橋哲也, 他: 内部障害理学療法. 医学書院, 東京, 2013, pp.27-28.

(指導教員 神津 玲)

足関節の機能性テーピングが運動パフォーマンスに及ぼす影響

田中地亮佑・古賀友香理

要旨

【目的】足関節の機能性テーピングが運動パフォーマンスに及ぼす影響を検証した。【対象と方法】健常若年成人 20 名(男性 12 名, 女性 8 名)(平均年齢 21.0 歳)の足関節に伸縮性・非伸縮性テープを組み合わせた機能性テーピングを行い, 足関節の関節可動域, Y バランステストによる動的バランス機能, 片脚垂直跳びによるジャンプ力, 反復横跳びによる敏捷性を評価した。【結果】テーピングによって内反・外反角度が有意に制限されたが, 底屈および背屈角度に差は無かった。Y バランステストでは, テーピング群が前方, 内側後方, 外側後方とも裸足より有意に低下した。ジャンプ力に差は認めなかったが, 反復横跳び回数はテーピング群が有意に少なかった。【結論】健常人においては, 機能性テーピングによってバランス能力と敏捷性が影響を受ける可能性がある。

はじめに

スポーツ競技による負傷において足関節捻挫の発生率は高く, スポーツ外傷全体の約 15%, 足関節外傷の約 85%を占める^{1,4)}。足関節捻挫の治療による回復は比較的良好であるが, 約 80%は足関節捻挫を繰り返す, 約 40%は関節不安定症に至る^{3,5,6)}。したがって, 足関節外傷後の再発予防および後遺症としての足関節不安定症に対して内反と底屈を制動するテーピング固定を施すことがある^{7,8)}。テーピングは 1880 年頃より欧米で使用されはじめ, 本邦では 1975 年に初めて講習会が開催された⁹⁾。その後, テーピングは主にスポーツの現場で普及し, スポーツ時の関節の固定, 保護の目的で用いられる。コクラン・システムティックレビューによると, サッカーやバスケットボールのような捻挫のリスクが高い競技では, 半硬性サポーターやエアークャストなどを用いることで足関節靭帯損傷の予防効果があると報告されている¹⁰⁾。実際に, 慢性的に足関節に不安定性がある者に対してテーピングを施すと, 足関節を適正な位置に保持して歩行やジョギングの際の足関節捻挫を予防する効果があるとされる¹¹⁾。しかし, 関節を固定することは損傷部位を保護できる一方で, 可動域が制限されてしまい, 運動パフォーマンスが低下する可能性がある^{10,12,13)}。先行研究では

バランス能力¹⁴⁾やジャンプ前のしゃがみ込む動作が阻害されることによる垂直跳び能力¹³⁾の低下を来す可能性も指摘されている。

テーピングに関する研究では, その効果や制動時間を検討したものが多く, 巻き方やテープの材質などによって結果は報告者によって様々である¹²⁾。さらに, テーピングと運動能力との関連性を検討した先行研究は少なく, 特に瞬発性・敏捷性を評価したものは渉猟し得ない。そこで本研究では, 足関節の伸縮性・非伸縮性テープを用いた機能性テーピングが運動能力の中のバランス能力, ジャンプ力, 敏捷性に及ぼす影響を多面的かつ客観的に検証することを目的とした。本研究で得られる知見は, 競技スポーツに関わる選手や指導者にとって有益な情報になり得ると考える。

対象と方法

対象は四肢の運動器疾患や神経疾患の既往がない健常成人ボランティア 20 名(男性 12 名, 女性 8 名)(平均年齢 21.0±0.6 歳)である。除外基準は, テーピングテープや皮膚処理時にアレルギー反応を示す者, 過去もしくは現在, 運動器疾患を有する者, 研究期間中に運動を制限すべき疾患を有する者, 研究への参加を拒否した者とした。対象者の基本情報(年齢, 身長, 体重,

既往歴、スポーツ歴、喫煙歴など)は自記式アンケートにて収集した。

次に、テーピング装着前後(裸足、テーピング状態)での足関節関節可動域(背屈、底屈、内反、外反)を角度計にて計測した。運動機能については、動的バランス機能をY バランステスト、ジャンプ力を片脚垂直跳び、左右の敏捷性を反復横跳びで評価した。

足関節テーピング方法

本研究では内外側の側副靭帯損傷予防を目的としたテーピングを採用した。対象者の右足関節周囲の剃毛など前処理を施した後、幅 70mm の皮膚保護用ラップ (L-アンダーラップ, LINDSPORTS 社)を巻いた。スターアップとヒールロックに幅 50mm の伸縮性テーピング(リンドエラスト PRO, LINDSPORTS 社)を用い、ホースシューとアンカーには幅 38mm の非伸縮性テーピング(エコノミーホワイト, LINDSPORTS 社)を使用した(図 1)。テーピングは、実業団チームでトレーナーとして働く熟練者から指導を受け、十分に練習を行った 1 名の検査者が施行した¹⁵⁻¹⁷⁾。



図 1 足関節テーピング法

1) 動的バランス機能評価(Y バランステスト)

Dunsky ら¹⁸⁾の方法に準じて身体の動的バランス機能の評価した。床に幅 5cm のマスキングテープを前方、後外側、および後内側の 3 方向に 130cm の長さで貼り付け、マスキングテープに 0.5cm 単位で目盛を記載した。対象者は 3 方向に伸びたテープの中心に両側母趾が位置するように立ち、スタート肢位とした。上体のバランスを保ちながら、右脚を支持脚として左脚で 3 本のマ

スキングテープをできるだけ遠くに向けて伸ばし、最高到達距離を計測した。1 分間の休憩を挟んで合計 2 回の測定を行い、2 回の記録のうち最大値を代表値とした(図 1)。転倒するか支持脚が移動した場合の記録は無効とし、再度測定した。最後に実測値を下肢長で除して正規化した。

2) ジャンプ力評価(片脚垂直跳び)

部屋の壁に床上 150cm から天井まで横造紙を貼り付けた。対象者は紙を貼った壁から 10cm 離して右脚で起立肢位をとった。左手中指先端に朱肉を付け、片手をまっすぐ上に伸ばした高さにインクをつけた。この時、検者は肩甲帯が地面と平行であることを後方から確認した。次に、上肢で反動をつけて片脚でできるだけ高く跳びあがり、最高点で紙にインクをつけた。安全のため着地は両脚で行った。立位と跳躍時のインクの(垂直方向の)距離を測定した。1 分間の休憩を挟んで合計 2 回の測定を行い、2 回の記録のうち最大値を代表値とした。転倒するか壁に接触した場合の記録は無効とし、再度測定した。

3) 左右の敏捷性評価(反復横跳び)

文部科学省の新体力テスト実施要項¹⁹⁾に準じて敏捷性を評価した。床に幅 3cm のマスキングテープを 1m 間隔で 3 本平行に貼り付けた。対象者は中央のラインに跨って立ち、スタート肢位とした。「スタート」の掛け声と同時にできるだけ早く 3 本のラインを跨ぎ、20 秒間にラインを跨ぐ、もしくは踏んだ数を計測した。1 分間の休憩を挟んで合計 2 回の測定を行い、2 回の記録のうち最大値を代表値とした。転倒した場合の記録は無効とし、再度測定した。全ての運動評価は靴下や靴を履かず、健側は裸足のまま木製の床の上で行った。

統計学的解析には Statcel3[®]を使用した。裸足とテーピング装着で関節可動域、Y バランステスト、垂直跳び、反復横跳びの連続変数に関して、対応のある t 検定もしくは Mann-Whitney-U 検定による 2 群間比較を行い、有意水準はいずれも 5%未満とした。尚、本研究は長崎大学大学院医歯薬学総合研究科倫理委員会の承認を得て実施した(承認番号:20040901-2)。

結果

1) 関節可動域

テーピング装着時の足関節可動域は、内反 10.1°、外反 13.1°、背屈 19.5°、底屈 51.5°であり、裸足(内反 28.6°、外反 18.0°、背屈 20.8°、底屈 51.3°)と比較すると、底屈および背屈角度には差が無かったが、内反と外反角度は有意に制限されていた(図 2)。

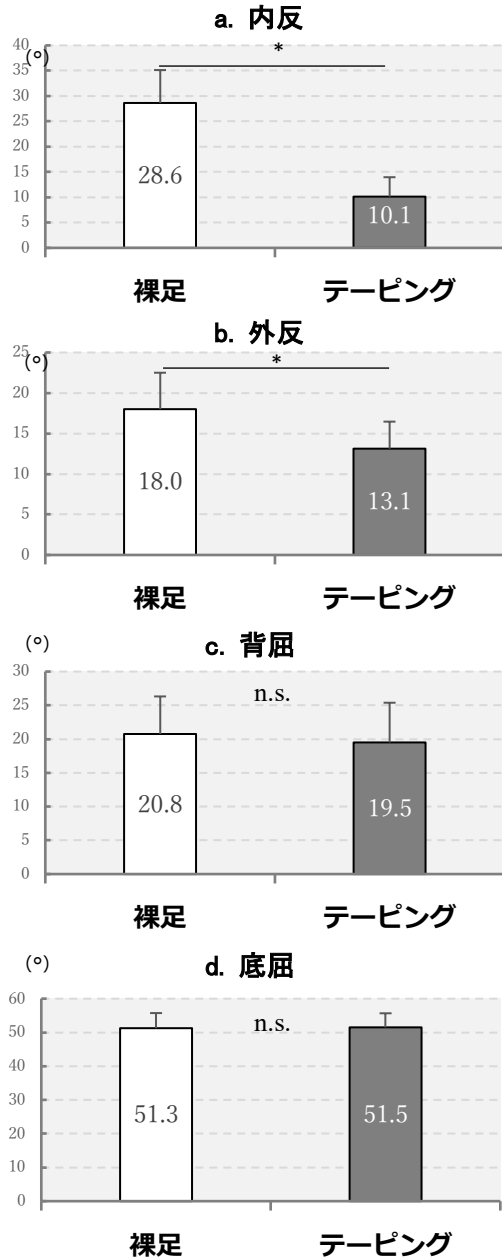


図 2 関節可動域

2) Y バランステスト

Y バランステストの結果を図 3 に示す。裸足では前方 73.6%、内側後方 102.1%、外側後方 95.9%であったのに対し、テーピング装着状態では前方 71.4%、内側後方 99.6%、外側後方 92.8%となり、3 方向とも有意に低下していた。

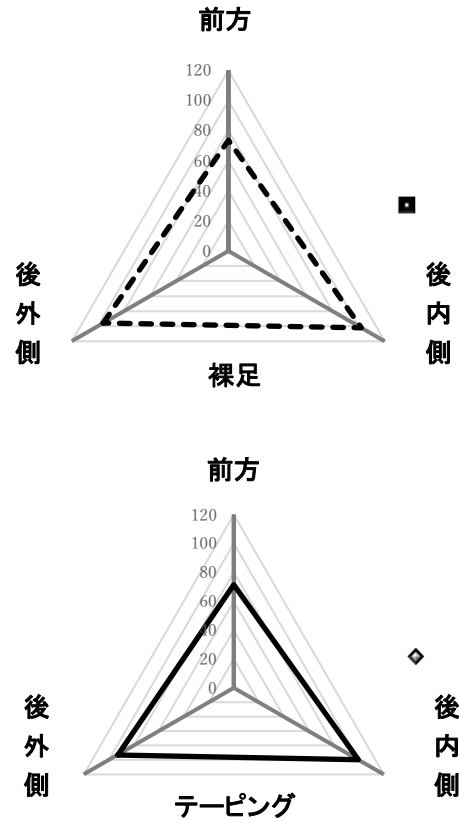


図 3 Y バランステスト

3) 片脚垂直跳び

片脚垂直跳びの平均値は、裸足が 32.4±6.5cm、テーピング状態では 31.8±6.4cm であり、両者に有意な差は認めなかった(図 4)。

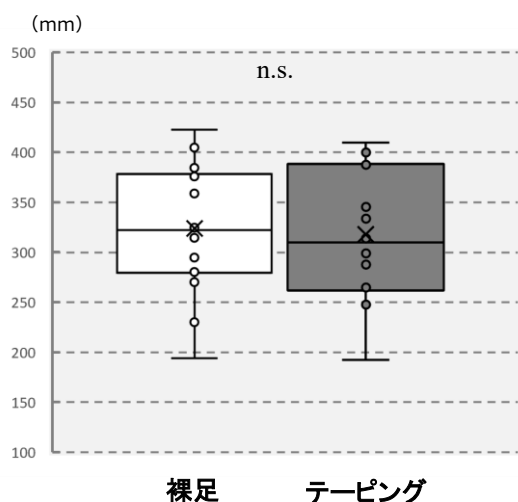


図4 片脚垂直跳び

4) 反復横跳び

裸足での反復横跳びは平均 52.1±5.4 回であったが、テーピングを装着すると 50.0±4.7 回となり、テーピング状態は裸足に比較して有意に低下していた(図5)。

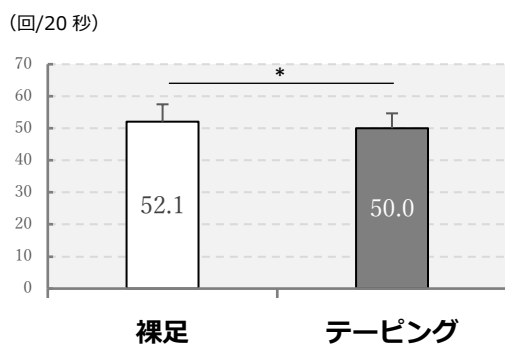


図5 反復横跳び

考察

近年、スポーツ現場では理学療法士が選手のコンディショニングなどに対してアプローチする機会が増加している。通常はマッサージ、アイシングなどの物理療法、関節可動域や筋力エクササイズなどの運動療法を行うが、テーピング処置を依頼されるケースも少なくない。元来テーピングは外傷を受けた関節を外側から制動・保護する目的で使用されてきたが、テープの材質や固定方法の多様化によって有効性や持続時間の延長だけでなく、筋機能の補助を目的としたテーピングも報告されている²⁰⁾。しかし、運動パフォー

マンスへの影響を検証する標準化した判定法は、現状では存在しない。そこで本研究では、健康成人を対象に足関節の機能性テーピングを行い、関節可動域と運動パフォーマンスへの影響を客観的に検証した。

関節の制動効果に関しては、ストレス X 線像による距骨傾斜角、三次元動作解析装置による足関節内反角度の計測でも制動効果が得られるとの報告が大半を占めている²¹⁻²³⁾。本研究でも内-外反の可動域が制限されており、テーピングの本来の目的である関節の内-外反の制動効果は得られていた。一方、底-背屈角度は裸足と差が無かったことは、運動パフォーマンスを保持するという機能性テーピングの特徴を發揮できていたことを示している。テーピングは非伸縮性と伸縮性に大別され、伸縮テープはさらにハードタイプとソフトタイプに分類される。非伸縮テープは応急処置の固定やアンカーテープとして使用され、伸縮テープは患部の圧迫や関節の制動の他にも、その伸縮性をバネのように利用して筋機能を補助することもできる。本研究ではホースシューとアンカーを非伸縮性テーピングで行い、スターアップとヒールロックに伸縮性テーピングを使用したことで、足関節底-背屈の自由度を確保しつつ内-外反を制動できたと考えられる¹⁷⁾。

本研究の運動パフォーマンス評価では、足関節テーピングを施すことでバランス機能と敏捷性が低下したが、ジャンプ力は保持されていた。足関節テーピングが運動パフォーマンスへ及ぼす影響について諸家の報告は統一していない。Koyama¹³⁾は、ジャンプ力が低下したと報告し、MacKean²⁴⁾は短距離走の速度も低下したと報告している。また、Morena²⁵⁾は静的・動的バランス能力には影響しないとしたが、後藤²⁶⁾はバランス能力が低下したと述べている。こうした運動機能が低下したとする報告の多くは非伸縮性テープによる固定用テーピングを用いており、多くは足関節捻挫の既往を有さない健康人を対象としている。一方、満丸²⁷⁾は足関節テーピングによってつま先立ち立位を安定化するとし、大西²⁸⁾は切り返し運動時の内反角度と腓骨筋反応時間が改善したと報告している。このように裸足よりも運動機能が向上したとする研究では、足関節捻挫の既往や不安定性を有する対象者で検討

されていることが多い。つまり、もともと関節安定性が低下している場合には、テーピングの制動効果により関節が安定化するため、裸足の状態よりも運動能力の向上が期待できると考えられる。最近では、テーピングは外傷予防や活動中の応急処置としてだけでなく、怪我をした選手を早期に競技復帰させるツールとしての役割も求められている。本研究で用いた機能性テーピングは、足関節の内-外反を抑制したが、底-背屈角度は保持できていたため、裸足と遜色ないジャンプ力を発揮することができた。一方、健常者を対象としたためバランス機能と敏捷性はテーピングによって低下したが、慢性的な疼痛や関節不安定性などの障害を持っている対象者に施せば、逆に運動パフォーマンスの向上につながる可能性もある。今後は症例数を増やしながら、怪我や障害の程度と、テープの種類やテーピング方法などの組み合わせのバリエーションによる効果を検証していく必要がある。

まとめ

健常若年成人 20 名の足関節に機能性テーピングを行い、運動機能に及ぼす影響を検証した。底屈、背屈角度が制限されなかったことでジャンプ力は低下しなかったが、内反・外反角度が制限されることによって動的バランス能力と敏捷性は裸足より有意に低下した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導、ご尽力を賜りました小関弘展教授ならびにご協力をいただいたボランティアの方々に心より謝意を表します。

参考文献

- 1) Garrick JG: Epidemiologic Perspective. Clin Sports Med. 1982; 1: 13-18.
- 2) 田城 翼, 浦辺幸夫: 足関節捻挫の予防に向けてできること. 臨スポーツ医. 2021; 38: 221-223.
- 3) Abe Y, Sugaya T, et al.: Postural control characteristics during single leg standing of individuals with a history of ankle sprain: Measurements obtained using a gravicorder and head and foot accelerometry. J Phys Ther Sci. 2014; 26 : 447-450.
- 4) Attarian DE, McCrackin HJ, et al.: A biomechanical study of human lateral ankle ligaments and autogenous reconstructive grafts. Am J Sports Med. 1985; 13: 377-381.
- 5) Kim H, Chung E, et al.: A comparison of the foot and ankle condition between elite athletes and non-athletes. J Phys Ther Sci. 2013; 25: 1269-1272.
- 6) Gerber JP, Williams GN, et al.: Persistent disability associated with ankle sprains: A prospective examination of an athletic population. Foot Ankle Int. 1998; 19: 653-660.
- 7) Nishikawa T, Kurosaka M, et al.: Protection and performance effects of ankle bracing. Int Orthop. 2000; 24: 285-288.
- 8) Fumich RM, Ellison AE, et al.: The measured effect of taping on combined foot and ankle motion before and after exercise. Am J Sports Med. 1981; 9: 165-170.
- 9) 鹿倉二郎: テーピングの歴史と概念. Orthopaedics. 1992; 5: 1-8.
- 10) Handoll HH, Rowe BH, et al.: Interventions for preventing ankle ligament injuries. Cochrane Database Sys Rev. 2001: CD000018, doi: 10.1002/14651858.CD000018.
- 11) Chinn L, Dicharry J, et al.: Gait kinematics after taping in participants with chronic ankle instability. J Athl Train 2014; 49: 322-330.
- 12) 和久井鉄城, 三浦雅史: 足関節テーピングの有効性に関する文献研究. 東北理療. 2004; 16: 54-59.
- 13) Koyama K, Kato T, et al.: The effect of ankle taping on the ground reaction force in vertical jump performance. J Strength Cond Res. 2014; 28: 1411-1417.
- 14) Bennell KL, Goldie PA: The differential effects of external ankle support on postural

- control. J Orthop Sports Phys Ther. 1994 ;20: 287-295.
- 15) 鹿倉二郎:【整形外科医に必要なスポーツ医学の知識】関連領域に関する知識 テーピングの基礎知識. 整・災外. 2005;48: 655-661.
 - 16) 鹿倉二郎:【下肢のスポーツ障害リハビリテーション実践マニュアル】テーピングの役割と手技. MEDICAL REHABILITATION. 2004;45:45-50.
 - 17) 小笠原浩気, 鈴木大輔, 他:足関節外側靭帯損傷におけるテーピングの内旋制動性. 日臨スポーツ医学会誌. 2010;18:290-296.
 - 18) Dunsky A, Barzilay I, et al.: Effect of a specialized injury prevention program on static balance, dynamic balance and kicking accuracy of young soccer players. World J Orthop. 2017; 8: 317-321.
 - 19) 文部科学省:新体力テスト実施要項. https://www.mext.go.jp/a_menu/sports/stamina/03040901.htm (2021年12月17日引用)
 - 20) 木田貴英, 井野拓実:【バイオメカニクスから考えるスポーツ医科学】スポーツリハビリテーションのバイオメカニクス テーピングの効果とバイオメカニクス. 臨スポーツ医. 2016;33:18-21.
 - 21) Vaes P, Duquet W, et al.: Objective roentgenologic measurements of the influence of ankle braces on pathologic joint mobility. A comparison of 9 braces. Acta Orthop Belg. 1998; 64: 201-209.
 - 22) Laughman RK, Carr TA, et al.: Three-dimensional kinematics of the taped ankle before and after exercise. Am J Sports Med. 1980; 8: 425-431.
 - 23) Wilkerson GB: Comparative biomechanical effects of the standard method of ankle taping and a taping method designed to enhance subtalar stability. Am J Sports Med. 1991; 19: 588-595.
 - 24) MacKean LC, Bell G, et al.: Prophylactic ankle bracing vs. taping: Effects on functional performance in female basketball players. J Orthop Sports Phys Ther. 1995; 22: 77-81.
 - 25) de-la-Morena JM, Alguacil-Diego IM, et al.: The mulligan ankle taping does not affect balance performance in healthy subjects: A prospective, randomized blinded trial. J Phys Ther Sci. 2015; 27: 1597-1602.
 - 26) 後藤圭介, 篠原 博, 他:テーピングの効果 足関節テーピングがバランス能力に与える影響. 国際エクササイズサイエンス会誌. 2019;2:40-44.
 - 27) 満丸 望, 平川信洋, 他:足関節へのテーピングが立位バランスへ及ぼす効果. 理学療法さが. 2018;4:1-6.
 - 28) 大西 均, 土山裕之, 他:足関節内反捻挫後の不安定性に対するテーピングの効果 足関節内反角度と腓骨筋反応時間による分析. 滋賀県理学療法士会学術誌. 2017; 36:55-58.

(指導教員 小関弘展)

関節リウマチ患者の趣味・娯楽が心理状態にもたらす影響

笹原夏香・村上まり奈

要旨

本研究は、趣味・娯楽が関節リウマチ(RA)患者の心理状態にどのような影響を及ぼすかを検証するものである。対象は、RA患者14名で、趣味・娯楽の有無や活動量、趣味・娯楽を行う前後での心理状態や痛みの強度をアンケート調査にて評価した。心理状態や痛み強度の評価にはHADS、痛みの破局的思考(PCS)、NRSを使用した。その結果、趣味・娯楽を行った前後でHADSの不安に有意な低下が認められた。また、運動の趣味・娯楽がある者とない者での比較において、ある者ではHADSの抑うつ点数が有意に低く、心理状態の評価結果においてもカットオフを上回る者が少なかった。これらの結果から趣味・娯楽はRA患者の不安を改善し、特に運動の趣味・娯楽は抑うつや不安感予防、破局的思考形成の抑制に繋がると考えられた。今後、より正当性の高いデータを蓄積することで、臨床における心理状態の改善や抑うつ等の予防を目的とした患者指導として、効果が期待できると考えられる。

はじめに

関節リウマチ(Rheumatoid Arthritis: RA)は、関節で起きる炎症と滑膜細胞の異常増殖、炎症性サイトカインや基質分解酵素などによる骨・軟骨の破壊を主病態とする自己免疫疾患である¹⁾。また、関節症状以外に関節外症状をきたすことが知られており、さまざまな合併症を呈することも報告されている。合併症は、感染症、心血管疾患、悪性腫瘍、消化管疾患、呼吸器疾患など多岐にわたるが、抑うつ状態の合併は約15%と最多である²⁾。

RAの治療法として、欧米では1988年から、日本では1999年からメトトレキサート(MTX)が用いられるようになり、骨破壊の進行を抑制することが可能となった。さらに、2003年頃からは生物学的製剤などの登場により、これらを使用した早期治療を行うことで関節の破壊が減少することが報告され、MTXや生物学的製剤による早期治療がRA治療の主流へと変化していった³⁾。また、MTXや生物学的製剤がRAの疾患活動性を低下させ、合併する抑うつ症状も改善することが報告された²⁾。

しかし、RAの疾患活動性が改善するにも関わらず、抑うつ状態が改善しない患者も一定の割合で存在し、「症状の進行」や「日常生活動作の低下」、「薬の副作用や合併症」といった不安やう

つ症状を訴えているという現状があり⁴⁾、今後の課題として挙げられている。

先行研究では、RA患者において、楽しい笑いは神経内分泌-免疫系に作用し、RAの活動性を改善させうる、また、気分を大変良くする作用もあるという報告がされている。また、精神的stressで病状が憎悪し、反対に気分が明るく、そして楽しくなると症状が改善することが、日常の診療でもよく経験される⁵⁾。

今回、楽しい気分にするものとして趣味・娯楽に着目し、その前後における心理状態や痛みの強度の評価を行い、趣味・娯楽と心理状態の関連について調査を行った。

方法

1. 対象者

今回の研究の対象者は、A病院を受診しているRA患者14名(女性10名、男性4名)である。対象者には研究実施前に文書および口頭にて研究の目的を説明し、書面にて同意を得た。倫理的配慮は、長崎大学病院倫理委員会の承認(許可番号:21021507)を受け実施した。対象者は2010年米国/欧州リウマチ学会関節リウマチ分類基準を満たした患者であり、平均年齢は60.3±9.6歳、平均罹患年数は9.5±6.3年、

Steinbrocker (スタインブロッカー) のステージ分類は、1 が 7 名、2 が 3 名、3 が 1 名、4 が 3 名とさまざまであった。クラス分類は、1 が、2 が、ADL 障害が重度の患者はいなかった。治療薬に関してはメトトレキサートを服用している患者は 7 名で、生物学的製剤を服用している患者が 3 名であった。

2. 調査方法

対象者のリウマチ外来の定期受診時に、口頭と文書にて承諾を得た後、アンケート用紙を渡し、記入したものを郵送で返却してもらった。アンケートでは、趣味・娯楽の有無、趣味・娯楽の前後で、痛みの主観的評価として、痛みの強度と痛みの心理状態を評価した。痛みの主観的評価は、Numerical Rating Scale (以下 NRS)、Hospital Anxiety and Depression Scale (以下 HADS)、痛みの破局的思考 (PCS: Pain Catastrophizing Scale 以下 PCS) の 4 つを測定した。さらに、電子カルテより年齢、性別、罹患年数、Steinbrocker、の stage 分類と class 分類、Disease activity score28-CRP (DAS28-CRP)、modified health Assessment Questionnaire (mHAQ)、治療薬の情報を入手した。DAS-28CRP は RA の疾患活動性を表す指標である (表 1)。

表 1 DAS28-CRP の重症度

DAS28-CRP	疾患活動性
4.1<	高値
2.7~4.1	中等度
<2.7	低値
<2.3	寛解

3. 評価項目

NRS

疼痛の程度の評価は、0 から 10 までの 11 段階の数字を用いて、評価した。

HADS

身体症状を持つ患者の不安と抑うつの状態を評価する。不安についての 7 項目、抑うつについての 7 項目からなる 14 項目の自己評価式のテストである。それぞれの質問に対し 0~3 点の 4 段階で回答してもらい、不安、抑うつの合計点から、0~7 点を「不安または抑うつなし」、8~10 点を「疑

いあり」、11 点を「確定」と分類する。

PCS

13 項目の質問に対し、疼痛を感じているときの経験している考えや感情で該当するものを回答する。それぞれの項目は、疼痛に対する破局的思考の「反芻」「無力感」「拡大視」に分類される。本研究では、疼痛に対し現在の考えや感情を評価した。

4. 統計処理

統計解析ソフトウェアは JMP pro16 を用いた。趣味・娯楽前後の比較に対しては Wilcoxon の符号付き順位検定を行い、不安の改善の有無に対する各評価項目の影響の検討には Student t 検定と χ^2 二乗検定を行った。いずれも有意水準は 5%未満とした。

結果

1. 趣味・娯楽の有無、内訳

対象者 14 名全員が趣味・娯楽を行っていた。内容を表 2 に示す。全身を動かし活動性の高いものを運動系、活動性の低いものを非運動系とした。

表 2 趣味・娯楽の内容

運動系	非運動系
庭いじり、水泳、ゴルフ、ショッピング	編み物、読書、テレビ、友人との会話、ゲーム、温泉、カラオケ

2. 趣味・娯楽前後での心理状態と痛み強度の比較

趣味・娯楽前後での心理状態の調査結果を表 3 に示す。趣味・娯楽後に HADS の不安の値が有意に低下していた ($p=0.0425$)。また、HADS の抑うつ、PCS (記入漏れのため対象者 11 名)、NRS の値において有意差は認められなかった。

表 3 趣味・娯楽前後での心理状態

	趣味・娯楽前	趣味・娯楽後	p値
HADS: 不安	5.1±4.3	3.7±3.9	0.04
HADS: 抑うつ	6.6±3.6	5.5±2.8	0.22
PCS	23.2±11.2	21.8±11.7	0.62
PCS: 反芻	11.0±6.0	10.5±6.0	0.85
PCS: 拡大視	5.4±3.1	4.7±2.9	0.66
PCS: 無力感	6.8±4.6	6.6±4.9	0.38
NRS	2.6±2.4	3.1±2.3	0.11

3. 不安の改善の有無による臨床的特徴の比較

趣味・娯楽後に不安の値が減少していたことから、その要因を検討した。年齢、罹患年数、DAS28-CRP, mHAQ, 趣味・娯楽の種類(運動/非運動), 趣味・娯楽を行っている時間、活動量、趣味・娯楽を行う前の HADS(抑うつ), PCS の点数、疼痛の NRS の項目では有意差は認められなかった(表 4)

表 4 不安の改善の有無による臨床的特徴

	改善あり	改善無し	p 値
人数	8人 (57.1%)	6人 (42.9%)	
年齢(歳)	59.3±9.6	61.7±10.3	0.63
罹患年数(年)	11.1±7.1	7.4±5.0	0.33
DAS28-CRP	3.0±1.0	2.6±1.2	0.48
mHAQ	0.1±0.2	0.2±0.2	0.48
趣味の種類: 運動/非運動	2人/6人	2人/4人	0.73
趣味の時間: 時間/週	12.6±10.1(7人)	7.0±7.4	0.36
活動量: 時間/週	25.3±15.5	23.4±18.6	0.85
HADS: 不安(点)	6.6±5.2	3.2±2.1	
HADS: 抑うつ(点)	7.6±3.6	5.2±3.4	0.25
PCS(点)	22.7±12.5	24.0±11.0	0.88
痛み: NRS	2.9±2.7	2.3±1.8	0.70

4. 運動の有無による臨床的特徴の比較

坪井らの研究より、RA 患者自身がレクリエーションやスポーツ活動に参加することは、心理的にも好影響があり、精神的な緊張を緩める効果が期待できるという報告がされており¹⁾、趣味・娯楽の種類を、運動系、非運動系に分類し比較、分析を行った。年齢、罹患年数、DAS28-CRP, mHAQ, 趣味・娯楽を行っている時間、活動量、趣味・娯楽を行う前の HADS, PCS の点数、疼痛の NRS の項目にて解析を行った。抑うつの点数が運動を伴う趣味・娯楽を有する群において有意に低値を示した(p=0.0012)。その他の項目に関して有意差は認められなかった(表 5)。

表 5 運動の有無による臨床的特徴

	趣味・娯楽		p 値
	運動あり	運動なし	
人数	7人 (50%)	7人 (50%)	
年齢(歳)	65.3±8.7	55.3±9.1	0.07
罹患年数(年)	9.8±7.5	10.1±5.7	0.89
DAS28-CRP	2.6±1.2	3.1±1.1	0.39
mHAQ	0.1±0.2	0.2±0.2	0.25
趣味の時間(時間/週)	9.5±7.2	11.0±10.7(9人)	0.80
活動量(時間/週)	24.9±19.1	22.4±14.0	0.93
HADS: 不安(点)	3.4±2.2	5.4±5.1	0.18
HADS: 抑うつ(点)	3.7±1.5	7.6±3.9	0.0012
PCS(点)	18.4±10.7(5人)	23.8±12.4(8人)	0.27
痛み: NRS	2.1±1.9	2.9±2.6	0.46

考察

MTX や生物学的製剤などの治療の進歩により RA の症状軽減が進んでいるが、薬物療法では RA 患者の抱える不安などの精神的な面の解決が難しく課題となっている。そこで、本研究は、趣味・娯楽が RA 患者の心理状態にどのような影響を与えているのか明らかにするため、実施した。

今回、対象者 14 人全員が趣味・娯楽を有しており、その前後で HADS の不安が有意に減少したことから、RA 患者において、趣味・娯楽が不安の改善に繋がる可能性が示唆された。また、Katz らは、RA 患者の余暇活動が身体的かつ精神的な健康と活動時間とのバランスをとる上で重要であると報告していることから⁶⁾、趣味・娯楽が心理状態に良い影響を与えるという事が推測される。

今回、痛み強度に関して、ほとんどの対象者が変化なし、もしくは増加した。これは、RA の無力感や抑うつといった心理的問題は、痛みや機能障害とは無関係で異なる病因によって生じる心的問題であるという報告がなされていることから⁷⁾、RA 患者において、痛みと心理状態の関連性は低いと考えられた。また、痛みの改善の有無に関わらず、心理状態の改善が可能であることが示唆された。

運動の趣味の有無に関して、運動の趣味・娯楽を持つことが、抑うつの予防につながる可能性や不安・抑うつ・破局的思考の思考形成の抑制に関与する可能性が示唆された。これは、坪井らによって示されたレクリエーションやスポーツ活動に参加することが心理状態の改善に有効であるという先行研究と同様の可能性を示したと考えられる¹⁾。また、岡本らは、RA 患者におけるレクリエーション・スポーツ活動の適応の指標として① CRP が 0.2mg/dl 以下、② ERS が 50mm/時以下 ③ 貧血がない④ 滑膜炎が軽度⑤ 筋力維持されている⑥ 心臓、肺に合併症がない、等を挙げ、それらを満たしたうえで RA 患者に適したレクリエーション、スポーツ種目として① 散歩② 旅行③ ハイキング④ ドライブ⑤ サイクリング⑥ 体操、と報告していることから⁸⁾⁻⁹⁾ RA 患者が運動の趣味・娯楽を行う際には関節症状や体調、運動強度や運動の種類に留意する必要があると考える。

研究の限界

今回、新型感染症流行により対象の症例数が少なかったため、今後は症例数を増やし、趣味・娯楽の無い方との比較、検討を行い、より正当性の高いデータを蓄積していく必要がある。また、本研究で趣味・娯楽が RA 患者の不安を改善することが示唆されたが、要因については結果が得られなかったため、今後項目数を増やし改めて検討したい。

今回は一番頻度の高い趣味・娯楽の前後で心理状態を比較したため、実施している全ての趣味を加味した心理状態の変化をみることができなかった。そのため、改めて調査方法を検討していく必要がある。

RA は日内変動があったり、増悪・寛解を繰り返したりする疾患であり、本研究において趣味・娯楽を行った時の体調や RA の状態を把握することができていなかったことも課題の1つとしてあげられる。

まとめ

本研究では、関節リウマチ患者の趣味・娯楽による心理状態への影響を調査した。調査の結果、趣味・娯楽後に RA 患者の不安の減少が認められた。また、運動を伴う趣味・娯楽が抑うつ予防や、破局的思考、不安、抑うつの思考形成の抑制に関与する可能性が示唆された。今後正当性の高いデータを蓄積することで、臨床における心理状態の改善や抑うつ等の予防を目的とした患者指導として効果が期待できると考えられる。

謝辞

最後に、本研究を進めるにあたりご協力頂いた患者様、また、ご指導を賜りました折口智樹教授に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 坪井秀規, 橋本淳: 関節リウマチにおける運動療法とレクリエーション・スポーツ活動. 関節外科. 2006;25:166-169.
- 2) 三輪裕介, 穂坂路男, 松島大輔: 関節リウマチと抑うつ状態-7 holy diseases 研究から見た進歩と課題-. Jpn J Psychosom Med. 2019; 59:723-727.
- 3) 山崎勤, 中西徹: 関節リウマチにおける生物学的製剤. 就実大学薬学雑誌. 2020; 7: 10-11.
- 4) 公益社団法人日本リウマチ友の会: 希望と自立を求めて, 2015 年リウマチ白書 リウマチ患者の実態<総合編>. 障害者団体定期刊行物協会, 東京, 2015, pp. 91-98.
- 5) 吉野槇一: 関節リウマチ患者に対する楽しい笑いの影響. 心身医. 1996;36:560-563.
- 6) Katz P, Morris A: Time use patterns among women with rheumatoid arthritis: association with functional limitations and psychological status, Rheumatology(Oxford). 2007; 46: 490-495.
- 7) 島原範芳・松原貴子: 関節リウマチの疼痛および身体機能と精神心理因子との関係性. 第 48 回日本理学療法学会大会抄録集.
- 8) 岡本連三: スポーツ・レクリエーションの適応と効果. 総合リハ. 1997;25:631-636.
- 9) 岡本連三・奥住成晴: 関節リウマチとスポーツ・レクリエーション. 臨床スポーツ医学. 2006;23:275-281.

(指導教員 折口智樹)

不動によって発生・進行した筋萎縮，筋性拘縮，筋痛に対する

ベルト電極式骨格筋電気刺激法の効果

—ラットの実験モデルを用いた検討—

前田俊輔・三宅純平

本研究の目的は，ラット足関節を最大底屈位で 4 週間ギプスで不動化するモデルを用い，不動 2 週後よりベルト電極式骨格筋電気刺激法 (B-SES) を用いた介入を行い，不動によって発生・進行した筋萎縮や筋性拘縮，筋痛に対する効果を検証することである。7 週齢の Wistar 系雄性ラット 18 匹を無処置の対照群と両側足関節を最大底屈位の状態で 4 週間不動化する不動群，同様に 4 週間の不動化を行うとともに，不動 2 週後より B-SES による介入を実施する B-SES 群に振り分けた。そして，実験期間終了後は腓腹筋外側頭を採取し，検索材料に供した。結果，B-SES 群には筋性拘縮と筋痛の進行抑制効果が認められた。また，腓腹筋の浅層部を構成するタイプ IIb 線維に対して筋線維萎縮の進行抑制効果が認められた。以上のことから，不動によって発生・進行した筋萎縮，筋性拘縮，筋痛に対して B-SES による介入は効果があることが明らかとなった。

はじめに

骨格筋が不動に曝されると，筋萎縮，筋性拘縮，筋痛といった可塑的变化に由来した病態が生じ，筋力低下や関節可動域制限，疼痛といった障害・症候に発展することが知られている¹⁾。そして，先行研究によれば，不動によって惹起される筋萎縮，筋性拘縮，筋痛の発生メカニズムには類似性があることが明らかになっている¹⁾。具体的には，骨格筋が不動に曝されると筋核にアポトーシスが生じ，この筋核に制御されていた細胞質領域の処理のためにマクロファージが集積し，細胞質領域が減少することによって筋萎縮が発生するといわれている^{1,2)}。また，集積したマクロファージからは炎症性サイトカインである interleukin-1 β (以下，IL-1 β) が発現し，これは線維芽細胞を活性化するとともに，活性化した線維芽細胞からは transforming growth factor- β 1 (以下，TGF- β 1) が発現し，このような IL-1 β /TGF- β 1 の分子シグナリングの賦活化によってコラーゲンの増生，すなわち線維化が発生し，筋性拘縮に発展することが知られている^{1,3,4)}。加えて，不動に曝された骨格筋では痛みの内因性メディエー

タである神経成長因子 (nerve growth factor, 以下，NGF) が発現するとされ，これは一次侵害受容ニューロンの興奮を引き起こし，結果，筋痛が発生する^{1,5,6)}。なお，NGF の産生細胞の一つがマクロファージといわれている^{1,5,6)}。

つまり，筋萎縮，筋性拘縮，筋痛といった不動に伴う骨格筋の可塑的变化の発生メカニズムの基盤となる事象は，筋核のアポトーシスを発端としたマクロファージの集積と考えられ¹⁾，これを抑止できれば，筋萎縮，筋性拘縮，筋痛といった障害・症候を同時かつ効率的に予防できる可能性がある。そして，具体的な介入戦略としては積極的な筋収縮運動の負荷が重要と思われ，特に最近開発されたベルト電極式骨格筋電気刺激法 (belt electrode skeletal muscle electrical stimulation, 以下，B-SES) は大腿四頭筋やハムストリングス，下腿三頭筋など，ヒトの全身の骨格筋の約 70% を占める下肢全ての骨格筋を同時に刺激できることから，有効な介入戦略になり得ると思われる⁷⁾。事実，江崎ら⁸⁾は筋萎縮，筋性拘縮，筋痛に対する B-SES の介入効果をラットの実験動物モデルを用いて検討している。具体的には，ラット足関節を最大底屈位で 2 週間不

動化する過程で1日15分間、週6日、B-SESを実施すると腓腹筋外側頭の筋線維萎縮ならびに筋性拘縮の進行抑制効果が認められ、同筋の筋痛には軽減効果が認められている。つまり、不動によって惹起される筋萎縮、筋性拘縮、筋痛に対してB-SESを用いた介入は効果的といえる。

したがって、上記の先行研究⁸⁾の結果を踏まえ、不動後の早期からB-SESによる介入を開始するのが理想的であることは間違いない。しかし、臨床においては、骨折などの治療のために一定期間、ギプス固定などの不動処置が強いられることも多い。つまり、臨床では筋萎縮や筋性拘縮、筋痛が進行した段階から介入を開始せざるを得ない場合も多いが、このような場合におけるB-SESの介入効果に関してはこれまで明らかになっていない。

そこで、本研究ではラット足関節を最大底屈位で4週間ギプスで不動化するモデルを用い、不動2週間よりB-SESを用いた介入を行い、筋萎縮や筋性拘縮、筋痛に対する効果を検証した。

材料と方法

1) 実験プロトコル

1) 実験動物

実験動物は7週齢のWistar系雄性ラット18匹で、動物実験施設にラットが搬入された後は、実験者の操作にラットを慣れさせ、後に行う筋痛評価が円滑に実施できるよう1週間にわたりハンドリングを行った。その後、これらのラットを無作為に無処置で通常飼育する対照群(n=5)、両側足関節を最大底屈位でギプスで4週間不動化する不動群(n=6)、同様に4週間の不動化を行うとともに、不動2週間よりB-SESによる介入を実施するB-SES群(n=7)に振り分けた。

なお、今回の実験は長崎大学が定める動物実験指針に準じ(承認番号:1903281524)、長崎大学先端生命科学センター・動物実験施設で実施した。

2) 足関節の不動方法

不動群とB-SES群の各ラットに対しては、3種混合麻酔薬(5mg/kg)の腹腔内投与によって麻酔を行い、両側足関節を最大底屈位の状態でギ

プス包帯を用いて4週間不動化した。なお、その際、足指は浮腫の発生を確認するため露出させ、不動期間中は浮腫の発生やギプスの緩みを防ぐ目的で2~3日ごとにギプスの巻替えを行った。

3) B-SESの刺激条件

B-SES群の各ラットに対しては3種混合麻酔薬の腹腔内投与(5mg/kg)によって麻酔を行った後、ギプスを外し、腹臥位とした後に両側の大腿近位部と下腿遠位部にB-SES電極を巻いた。そして、刺激周波数はラットの下腿三頭筋に強縮を誘発するため50Hzとし、刺激強度については、所属研究室の先行研究の結果⁹⁾を踏まえ、正常ラットに対し足関節最大底屈筋力の60%を誘発できる4.7mAとした。また、刺激サイクルは2秒収縮、2秒休止の1:1サイクルとし、刺激時間は所属研究室の先行研究の結果¹⁰⁾を踏まえ、筋疲労の影響が少ない15分間とした。そして、以上の刺激条件によるB-SES介入を週6回の頻度で、不動2週間から延べ2週間行った。

2) 検索方法

1) 評価内容

不動開始前(以下、base line;BL)ならびに不動開始後は1週毎に後述の方法に準じ、覚醒下の状態で各群のラットの筋痛を評価した。また、筋痛の評価を行った後は3種混合麻酔薬(5mg/kg)の腹腔内投与によって各群のラットを麻酔し、後述の方法に準じて両側の足関節背屈可動域を測定した。加えて、4週間の実験期間終了後は、麻酔下で体重を測定した後に両側から腓腹筋外側頭を採取した。そして、以下の検索に供し、筋萎縮、筋性拘縮、筋痛の評価に用いた。

2) 筋萎縮の評価

① 筋湿重量ならびに相対重量比

採取した腓腹筋外側頭は電子天秤にて筋湿重量を測定した。そして、筋湿重量を体重で除し、相対重量比を算出し、これらを筋萎縮の評価の指標の一つに用いた。

② 筋線維横断面積

採取した腓腹筋外側頭は筋腹中央部で2分割し、その一部はトラガントガムに包埋後、液体

窒素で冷却したイソペンタン液(−80°C)を用いて凍結新鮮標本とした。そして、クライオスタット(Leica 社 CM1950)を用いて7μm厚の横断切片を作製し、その一部に対しては Hematoxylin & Eosin(以下、H&E)染色を施し、病理学的変化を観察した。また、一部の切片に対しては酸性前処理(pH 4.5)を施した ATPase 染色を施し、筋線維タイプの分別を行った。そして、ATPase 染色像は顕微鏡用デジタルカメラ(Nikon, DS-R1)を用いて 400 倍の拡大像で全視野をパーソナルコンピュータに取り込み、Scion Image software(W. Rasband, National Institutes of Health)を用いて、各タイプの筋線維横断面積を各筋試料につき 100 本以上計測した。なお、腓腹筋外側頭は皮膚に近い浅層部はタイプ II b 線維のみで構成されているのに対し、骨に近い深層部はタイプ I・II a・II b 線維が混在している¹⁾。そこで、本研究では浅層部と深層部に分け、筋線維タイプ別に筋線維横断面積を計測し、部位の違い、あるいは筋線維タイプの違いによって介入効果が異なるのか検討した。

3) 筋性拘縮の評価

① 足関節背屈可動域

麻酔したラットを側臥位とし、股・膝関節を他動的に最大屈曲させ、足底部に丸型テンションゲージ(大場製作所)の先端部をあてた。そして 0.3N の張力で足関節を他動的に背屈させた際の背屈角度を測定し、これを足関節背屈可動域として採用した。測定に際しては、基本軸を膝関節裂隙中央と腓骨外果を結んだ線、移動軸を腓骨外果と第 5 中足骨を結んだ線とし、これらの 2 つの軸がなす外角を 5°単位で読み取った。なお、以上の測定は 3 回行い、その最大値をデータとして採用し、筋性拘縮の評価の指標の一つに用いた³⁾。

② ヒドロキシプロリン含有量

筋性拘縮の主要な病態である線維化については、コラーゲン特有の構成アミノ酸であるヒドロキシプロリン含有量によって評価し、筋性拘縮の評価の指標の一つに用いた。具体的には、採取した腓腹筋外側頭の一部を細切し、24 時間の凍結乾燥処理を行い、乾燥重量を測定した。次に、この試料に 6N-HCl を 1ml 加え、110°Cで 15 時

間の加水分解処理を行い、HCl を除去した後、蒸留水 1ml を加え、試料を溶解した。そして、0.6μm のフィルターで試料を濾過し、濾過後に回収した試料をヒドロキシプロリン定量用の試料とした。次に、試料 5μl を 2 時間 100°Cで加熱処理した後、4N-NaOH を 50μl 加え、攪拌し、90°Cで 2 時間再度加熱処理を行った。そして、Chloramine-T 溶液を 500μl 加え、室温で 25 分間処理した後、Ehrlich 溶液を 500μl 加え、攪拌し、80°Cで 20 分間加熱処理し、試料を発色させた。その後、波長 540nm で試料の吸光度を測定し、ヒドロキシプロリン濃度に基づく標準曲線を基に試料内のヒドロキシプロリン含有量を定量した。なお、定量したヒドロキシプロリン含有量は乾燥重量で除し、単位乾燥重量あたりの含有量で表した。

4) 筋痛の評価

① 筋圧痛閾値

筋痛に関しては、圧刺激鎮痛効果測定装置(Randoll Selitto, Ugo Basile, Model 37215)を用い、腓腹筋外側頭の筋圧痛閾値を測定し、評価した。具体的には、ラットの上半身を布で拘束し、静かな環境下を保った状態で、先端直径が 8mm のプローブで皮膚上から腓腹筋外側頭を 48g/秒の条件で漸増加圧し、後肢の逃避反応が出現する圧力値を測定した。この測定は 5 回実施し、最大値と最小値を除外する 3 回の測定値の平均値を筋圧痛閾値のデータとして採用し、筋痛の評価の指標の一つに用いた⁵⁾。

② NGF 含有量

先行研究によれば、不動性筋痛の発生メカニズムの一つに骨格筋内における NGF の発現増加が関与しているとされている^{5,6)}。そこで、本研究でも NGF 含有量を測定し、筋痛の評価の指標の一つに用いた。具体的には、腓腹筋外側頭の一部を細切し、ジルコニアビーズと Lysis Buffer (50mM pH 8.0 Tris-HCl, 150mM NaCl, 5mM EDTA, 0.5% NP-40, 5M Urea)を加え、ビーズ式細胞粉砕装置 Micro Smash (TOMY, MS-100R)を用いてホモジュネートした。ホモジュネート後は、4°C, 12,000rpm で遠心分離を行い、その上清液を回収した。そして、上清液内の NGF 含有量を Rat NGF/NGF-β ELISA kit (Bosterbio, EK0471)

を用いて測定し, BCA Protein Assay Kit (Thermo, 23227)を用いて測定した総タンパク量で除し(単位;pg/mg), データとして採用した.

5) 統計処理

統計処理には, 一元配置分散分析と Scheffe 法による事後検定を適用し, 危険率 5%未満をもって有意差を判定した.

結果

1) 筋萎縮の評価結果

① 筋湿重量

各群の筋湿重量を比較すると, 対照群と比較して不動群, B-SES 群はいずれも有意に低値を示し, 不動群と B-SES 群の間に有意差は認められなかった(図 1).

② 相対重量比

相対重量比に関しても, 対照群と比較して不動群, B-SES 群はいずれも有意に低値を示し, 不動群と B-SES 群の間に有意差は認められなかった(図 2).

③ 筋線維横断面積

腓腹筋外側頭の ATPase 染色像をみると, 浅層部のタイプ IIb 線維, 深層部のタイプ I・IIa・IIb 線維のすべてにおいて不動群は対照群より縮小していた. 一方, B-SES 群は不動群に比べ浅層部のタイプ IIb 線維は大きい, 深層部はすべての筋線維タイプとも不動群と大差なく, 対照群より縮小していた(図 3).

実際, 浅層部のタイプ IIb 線維の筋線維横断面積を比較すると, 対照群に比べ不動群, B-SES 群は有意に低値を示した. また, 不動群と B-SES 群を比較すると B-SES 群が有意に高値を示した. 一方, 深層部においてはタイプ I・IIa・IIb 線維とも同様に, 対照群に比べ不動群, B-SES 群は有意に低値を示し, 不動群と B-SES 群の間に有意差は認められなかった(図 4).

2) 筋性拘縮の評価結果

① 足関節背屈可動域

各群の足関節背屈可動域を比較すると, 不動 2 週後までは不動群, B-SES 群は対照群に比べ有意に低値を示し, この 2 群間には有意差は認められなかった. 一方, 不動 3 週後以降の結果を比較すると, 不動群, B-SES 群ともに対照群に比べ有意に低値を示すものの, この 2 群を比較すると B-SES 群は不動群より有意に高値を示した(図 5).

② ヒドロキシプロリン含有量

各群のヒドロキシプロリン含有量を比較すると, 対照群に比べ不動群, B-SES 群は有意に高値を示した. しかし, この 2 群を比較すると B-SES 群は不動群より有意に低値を示した(図 6).

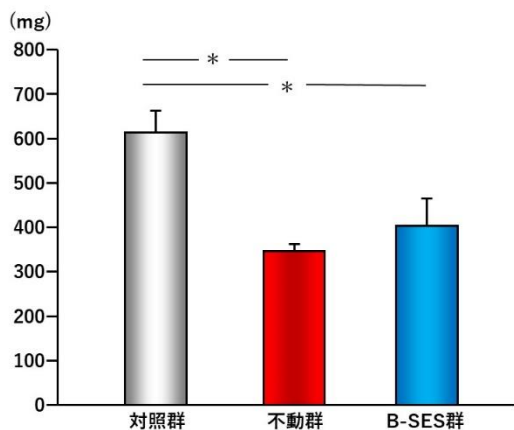


図 1 筋湿重量の比較

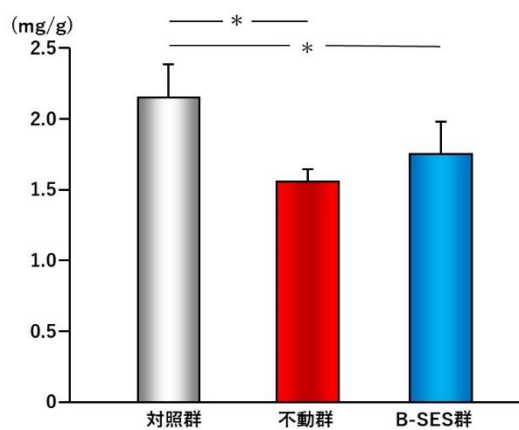


図 2 相対重量比の比較

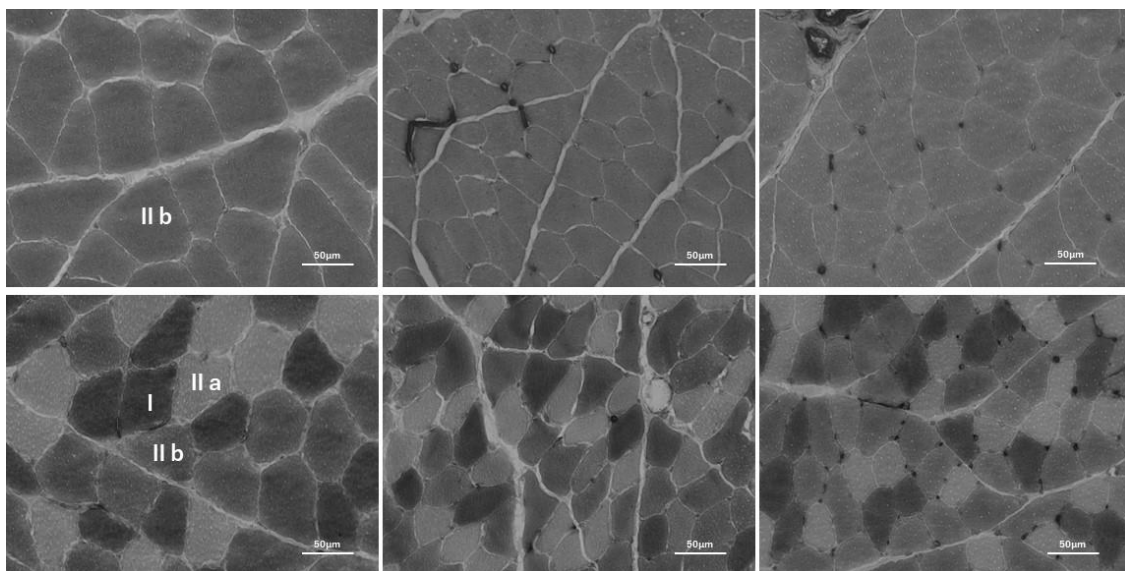


図3 ATPase 染色像

上段の写真が浅層部, 下段の写真が深層部で, 左から対照群, 不動群, B-SES 群を示している。

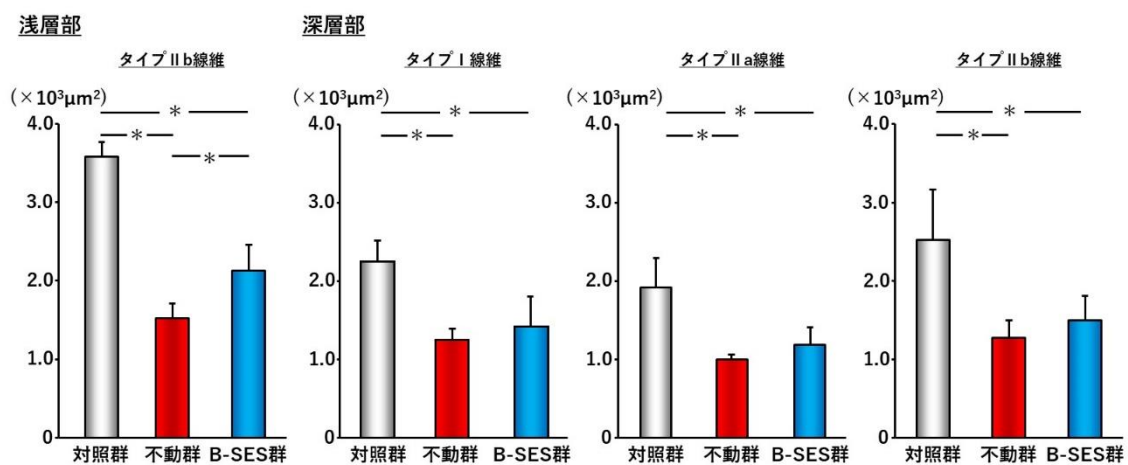


図4 筋線維横断面積の比較

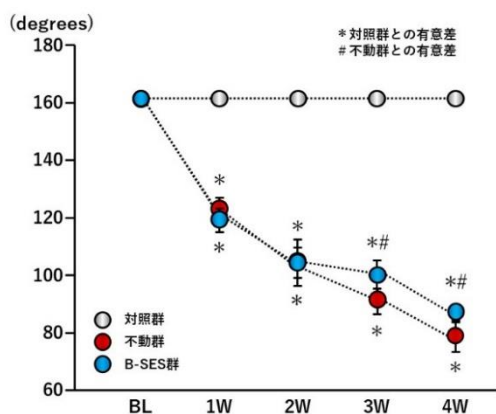


図5 足関節背屈可動域の比較

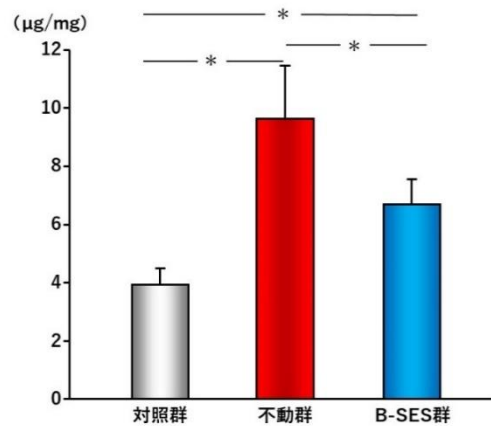


図6 ヒドロキシプロリン含有量の比較

3) 筋痛の評価結果

① 筋圧痛閾値

各群の筋圧痛閾値を比較すると、不動 2 週後までは不動群、B-SES 群は対照群に比べ有意に低値を示し、この 2 群には有意差は認められなかった。一方、不動 3 週後以降の結果を比較すると、不動群、B-SES 群ともに対照群に比べ有意に低値を示すものの、この 2 群を比較すると B-SES 群は不動群より有意に高値を示し、しかも B-SES 群の不動 3 週後以降は不動 2 週後より改善していた(図 7)。

② NGF 含有量

各群の NGF 含有量を比較すると、対照群に比べ不動群、B-SES 群は有意に高値を示した。しかし、この 2 群を比較すると B-SES 群は不動群より有意に低値を示した(図 8)。

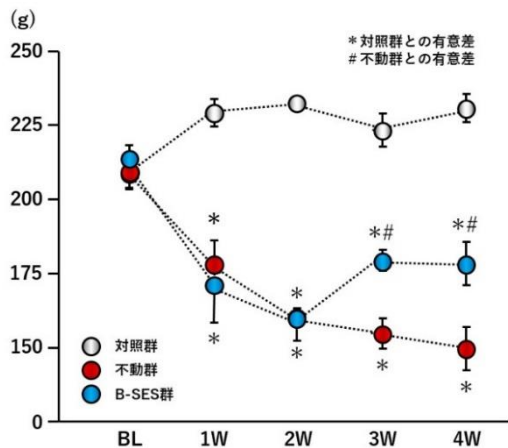


図 7 筋圧痛閾値の比較

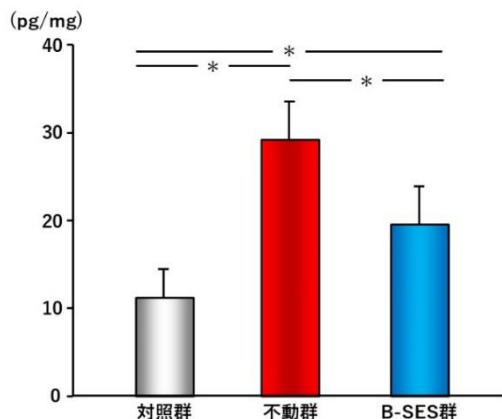


図 8 NGF 含有量の比較

考察

1) 筋萎縮に対する効果

今回の筋線維横断面積の結果から、B-SES を用いた筋収縮運動は深層部のすべてのタイプの筋線維萎縮に対して進行抑制効果はないものの、浅層部のタイプIIb 線維の筋線維萎縮に対しては進行抑制効果があることが明らかとなった。このように、部位の違いによって効果が異なることが示唆され、これは電気刺激による筋収縮の特異性が影響している可能性がある。具体的には、随意運動による筋収縮では神経サイズが小さい運動単位に支配されている筋線維タイプから動員されることが知られており、タイプI線維、IIa 線維、IIb 線維の順に動員される。これに対して、電気刺激の場合は神経サイズが大きいほど電気抵抗は小さくなるため、タイプIIb 線維が優先的に動員される。そのため、速筋に対してトレーニング効果が高いといわれている^{7,12)}。そして、今回検索対象としたラット腓腹筋外側頭は、深層部ではすべての筋線維タイプが混在しているが、浅層部はタイプIIb 線維のみで構成されている¹¹⁾。加えて、今回の対照群の浅層部と深層部におけるタイプIIb 線維の筋線維横断面積を比較すると、明らかに浅層部が大きく(図 3, 4)、この結果は、同じタイプIIb 線維でも浅層部と深層部では支配している神経サイズが異なる可能性を示唆している。したがって、B-SES は支配している神経サイズが最も大きい浅層部のタイプIIb 線維を優先的に動員するのではないかと考えられ、このことが筋線維萎縮の進行抑制効果を認めた要因ではないかと思われる。

一方、筋線維萎縮の進行抑制効果のメカニズムに関しては、筋核のアポトーシスの軽減や筋構成タンパク質の分解抑制など、様々な機序が考えられ^{2,9,13)}、この点の解明に関しては今後の課題である。

2) 筋性拘縮に対する効果

今回のヒドロキシプロリン含有量の結果から、B-SES を用いた筋収縮運動は、不動に伴う骨格筋の線維化に対して進行抑制効果があることが明らかとなった。そして、このことが影響し、足関節背屈可動域制限の進行も抑制されたのではな

いかと推察され、ある程度進行した筋性拘縮に対しても B-SES を用いた筋収縮運動は効果があるといえる。

一方、骨格筋の線維化の進行抑制効果のメカニズムに関しては、筋核のアポトーシスの軽減に伴うマクロファージの集積抑止ならびにこのことを契機とした IL-1 β や TGF- β 1 などの線維化関連分子の賦活化の軽減などが関わっていることが想定される⁹⁾。しかし、今回の結果ではこの点については明らかではなく、今後の検討課題である。

3) 筋痛に対する効果

今回の NGF 含有量の結果から、B-SES を用いた筋収縮運動は、不動に伴う NGF の発現を軽減することが明らかとなった。周知のように、NGF は痛みの内因性メディエータであり、その発現は一次侵害受容ニューロンの興奮を引き起こし、筋痛が発生すると考えられている。つまり、NGF の発現が軽減したことで、一次侵害受容ニューロンの興奮も減弱したのではないかと推測され、結果、筋圧痛閾値が改善したのではないと思われる。つまり、不動によって筋痛が惹起されていても、B-SES を用いた筋収縮運動はその改善に効果が期待できるといえよう。

一方、筋痛軽減のメカニズムに関しては NGF の発現減少以外にも、末梢神経密度の減少や炎症性サイトカインである IL-1 β の発現減少なども影響している可能性があり、さらには NGF の産生細胞の一つであるマクロファージの集積抑止の影響も否定できない⁵⁾。しかし、今回の結果ではこれらの点については明らかではなく、今後の検討課題である。

4) 総括

以上、本研究の結果を総括すると、不動によって発生・進行した筋萎縮、筋性拘縮、筋痛に対して B-SES による筋収縮運動は、完全ではないもののそれぞれの障害・症候に対して進行抑制効果があると結論付けることができる。しかし、そのメカニズムに関しては今回明らかにすることができなかった。

先行研究によれば、不動によって惹起される筋萎縮、筋性拘縮、筋痛の発生メカニズムには

類似性があり、具体的には、筋核のアポトーシスとそれに伴うマクロファージの集積が発生メカニズムの基盤といわれている¹⁾。つまり、これらの事象に対する B-SES の生物学的効果を明らかにできれば、今回の課題解決につながるだけでなく、筋萎縮、筋性拘縮、筋痛に対して効果的、効率的に介入できる戦略の開発につながるのではないと思われる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導、ご協力いただきました長崎大学大学院医歯薬学総合研究科運動障害リハビリテーション学研究室の諸先生方に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 沖田 実: 疼痛と拘縮の病態と発生メカニズムおよびエビデンスに基づく治療戦略－基礎研究の動向と臨床への応用－. 物理療法科学. 2020; 27: 1-6.
- 2) Tanaka N, Honda Y, et al.: Myonuclear apoptosis via cleaved caspase-3 upregulation is related to macrophage accumulation underlying immobilization-induced muscle fibrosis. Muscle Nerve. 2022 (in press).
- 3) Honda Y, Sakamoto J, et al.: Upregulation of interleukin-1 β /transforming growth factor- β 1 and hypoxia relate to molecular mechanisms underlying immobilization-induced muscle contracture. Muscle Nerve. 2015; 52: 419-427.
- 4) 本田祐一郎, 坂本淳哉, 他: 関節可動域制限に対する基礎研究の動向と臨床への応用－筋性拘縮の発生機序の解明ならびにエビデンスに基づいた治療戦略の開発を目的とした基礎研究－. 理学療法学. 2018; 45: 275-280.
- 5) Oga S, Goto K, et al.: Mechanisms underlying immobilization-induced muscle pain in rats. Muscle Nerve. 2019; 61: 662-670.
- 6) 大賀智史, 関野有紀, 他: ラット足関節不動モデルの骨格筋における痛覚過敏と神経成

- 長因子の変化. 日本運動器疼痛学会誌. 2014; 6: 107-113.
- 7) 森谷敏夫: 運動できない人に優れた運動効果をもたらす電気刺激を用いた方法. スポーツメディスン. 2006; 18: 20-23.
 - 8) 江崎ひなた, 平島悠嗣: 筋萎縮, 筋性拘縮, 筋痛に対するベルト電極式骨格筋電気刺激の効果—効果的な刺激条件の検討—. 長崎大学医学部保健学科理学療法学専攻卒業研究論文集. 2020; 16: 20-25.
 - 9) Honda Y, Tanaka N, et al.: Effect of belt electrode-skeletal muscle electrical stimulation on immobilization-induced muscle fibrosis. PLoS ONE 2021; 16(5): e0244120.
 - 10) 町田 響, 吉村萌華: 筋線維萎縮と筋性拘縮に効果的な B-SES の刺激条件の検討. 長崎大学医学部保健学科理学療法学専攻卒業研究論文集. 2019; 15: 44-49.
 - 11) Kataoka H, Nakano J, et al.: The influence of aging on the effectiveness of heat stress in preventing disuse muscle atrophy. Physiol Int 2017; 104: 316-328.
 - 12) Bickel CS, Gregory CM, et al.: Motor unit recruitment during neuromuscular electrical stimulation: a critical appraisal. Eur J Appl Physiol 2011; 111: 2399-2407.
 - 13) Fujita N, Murakami S, et al.: The combined effect of electrical stimulation and high-load isometric contraction on protein degradation pathways in muscle atrophy induced by hindlimb unloading. J Biomed Biotechnol 2011; 2011: 401493.

(指導教員 沖田 実)