

Shimane Rehabilitation College

# 島根リハビリテーション学院紀要

— 3 —



令和 7 年

学校法人仁多学園 島根リハビリテーション学院

<https://shima-reha.com/>

島根リハビリテーション学院 紀要  
Bull. Shimane Rehabilitation College

## 目次

---

巻頭言 ..... (1)

### 原著論文

荻田哲也・松浦晃宏・仲田奈生・森大志

3時間の足関節テーピング固定が運動皮質興奮性と片脚立位重心動揺に及ぼす影響… (2)

### 総説論文

杉本直俊

チョコレートによるWell-Beingへの展開..... (16)

令和6年度研究方法論Ⅲによる卒業論文..... (26)

投稿要領..... (28)

## 巻頭言

---

### 島根リハビリテーション学院紀要 3巻発刊にあたって

島根リハビリテーション学院は、地域社会の医療・保健・福祉に貢献できる優れた理学療法士・作業療法士の育成を目指しています。このためには医療系専門学校においても大学と同様に専門分野における社会的変革や科学的データに基づく新しい知識、技術を次世代に伝授する必要があります。この責任の大半は教育する側にあり、教育の質向上のために教育者自身の日々の研鑽が求められます。

本学院教職員は、「研究成果によって子供から高齢者までのそれぞれのライフステージに応じた怪我・病気・介護の予防と、障がい者の早期社会復帰に寄与することであり、得た科学的データに基づく取り組みを、次世代に伝授することである」ことを目指しています。この目標を達成する一助として、令和4年度に「島根リハビリテーション学院紀要」が創刊されました。今回、同紀要の第3巻を発刊することとなりました。

第3巻には本学院の教員による一編の原著論文が掲載されており、リハビリテーション医学の発展に少なからず貢献することが期待されます。また、本学院のみならず外部の病院や様々な施設の方々への最新の知識の紹介を目的とし、金沢大学医薬保健研究域保健学系リハビリテーション科学領域の杉本直俊先生に総説を依頼し掲載いたしました。ご一読頂ければと存じます。今後は新たな視点からの原著論文などをご投稿していただければ幸いです。

また、本巻も本学院の3年生の研究方法論Ⅲの履修により作成された卒業論文のタイトルならびに著者名のみを理学療法学科、作業療法学科に分け掲載しています。論文自体あるいは要旨の掲載も検討いたしました。今後の学会発表や学術雑誌への投稿の可能性を考慮しました。さらに、令和5年度から優秀な卒業論文を表彰する制度を立ち上げ、今回は理学療法学科より2編、作業療法学科より2編を選考しその結果も掲載しています。本学院以外の関係者の方々にも学生諸君の研究に携わる姿を感じて頂ければ幸いです。

最後になりますが、創刊に向け査読および校正をお引き受け頂きました先生方に深くお礼を申し上げます。

島根リハビリテーション学院  
学院長 紫藤 治

原 著 論 文

# 3時間の足関節テーピング固定が 運動皮質興奮性と片脚立位重心動揺に及ぼす影響

(keywords: MEP/テーピング固定/重心動揺)

荻田哲也<sup>1)</sup>・松浦晃宏<sup>2)</sup>・仲田奈生<sup>3)</sup>・森大志<sup>4)</sup>

## 要 旨

【目的】本研究では3時間の足関節テーピング固定による運動皮質興奮性の変化と姿勢制御機能を検討した。【方法】健常成人6名に対し、テーピングにより足関節を3時間固定した。経頭蓋磁気刺激を用いて、ヒラメ筋と前脛骨筋からの運動誘発電位 (MEP) を導出した。また、H反射、片脚立位の重心動揺と筋活動を計測し、各項目を固定前後で差の検定を行った。【結果】MEPは固定後に有意に低下し、総軌跡長は固定後に有意に増大した。周波数成分については、固定後に低周波成分が有意に低下、中周波帯域は有意に増大した。【結語】3時間の足関節テーピング固定により、運動皮質興奮性低下とそれに伴う姿勢制御機能が代償的に変化した。

---

2025年9月24日受理

- 1) 学校法人仁多学園 島根リハビリテーション学院 理学療法学科  
島根県仁多郡奥出雲町三成1625-1 Tel: (0854) 54-0001 E-mail: t.karita@shima-reha.jp
- 2) 広島国際大学 総合リハビリテーション学部  
広島県東広島市黒瀬学園台555-36
- 3) YMCA米子医療福祉専門学校 作業療法学科  
鳥取県米子市錦海町 3-3-2
- 4) 県立広島大学 総合学術研究科 保健福祉学部  
広島県三原市学園町1-1

## I. はじめに

スポーツやリハビリテーションの現場において、テーピングは外傷の予防や関節の安定化を目的として広く活用され、競技者のパフォーマンス維持にも重要な役割を果たす。特に、足関節に対するテーピングやブレースは足関節捻挫の発生率低下や主観的安定性の向上に寄与する報告がされている<sup>1,2)</sup>。従来、テーピングによる関節固定の効果は機械的支持による関節の安定化に重点を置いて議論されてきた。しかし近年では、関節固定が神経生理学的な適応を引き起こし、運動制御や姿勢制御に影響を及ぼす可能性が指摘されている。

皮質脊髄路は随意運動行動の主要な神経経路であり、その興奮性調節には体性感覚を含む多様な感覚情報が重要な役割を果たしている。したがって、適切な運動を行うには、さまざまな感覚情報に基づく運動出力の生成が必要である。そのため、感覚情報量の減少は運動皮質の興奮性を低下させ、結果的に運動出力に影響を与える可能性がある。感覚入力と運動出力の関係は、上肢や下肢の「固定」または「不使用」によって形態学および生理学的に検討されてきた。Langer らは、損傷した上肢を 14 日間固定した後、一次運動野および体性感覚野の厚さの減少、および皮質脊髄路の異方性低下を示した<sup>3)</sup>。この研究は、固定により感覚運動系が急速に再編成されることを示唆している。固定による中枢神経系の変化は運動系に限ったことではなく、感覚運動皮質の活動低下により触覚も障害されることが報告されている<sup>4)</sup>。経頭蓋磁気刺激 (Transcranial Magnetic Stimulation: 以下 TMS) は、機能学および形態学的可塑

性を非侵襲的に評価するのに有用なツールであり、四肢の固定に伴う皮質興奮性の評価に関する多くの報告がなされている<sup>5-10)</sup>。特に、短時間の関節固定による神経適応のメカニズムについては、近年の神経科学的研究から報告されている。Opie らは、4 時間の上肢固定によって一次運動野の興奮性が有意に低下することを示した<sup>11)</sup>。さらに、我々も手関節や足関節をギプスあるいは短下肢装具によって 3 時間固定することで皮質興奮性が低下することを確認した<sup>12,13)</sup>。これらの研究は、比較的短時間の固定であっても中枢神経系が可塑的に変化しうることを示唆している。

一方で、姿勢制御は視覚、体性感覚、前庭感覚などからの感覚情報の統合に基づいており<sup>14,15)</sup>、これらの情報は中枢神経系の複数の領域に投射、統合され安定した姿勢出力が生成される<sup>16)</sup>。特に、機械受容器からの求心性入力は機能的安定性に重要であると言われている<sup>17)</sup>。姿勢制御機能の検査として重心動揺測定があげられるが、中でもパワースペクトル解析は、視覚・前庭・固有感覚系など、姿勢制御に関わる生理学的メカニズムを周波数帯域ごとに評価できる手法として注目されている<sup>18)</sup>。特に、低周波帯域 (0.01 ~ 0.3Hz) は視覚系の関与を示し、中周波帯域 (0.3 ~ 1Hz) は前庭系の関与を、また高周波帯域 (1Hz 以上) は固有受容器からのフィードバック制御を反映するとされている<sup>19)</sup>。これらの知見を基に、中周波帯域のパワーが足関節戦略による姿勢制御と強く関連し<sup>20)</sup>、足関節不安定者はこの帯域のパワーが有意に低下することが報告されている<sup>21)</sup>。

しかしながら、スポーツ現場などで広く

使用されているテーピング固定が神経生理学的にどのような影響を及ぼすのか, また, 姿勢制御と運動制限の関連性は十分に明らかになっていない. 本研究は, 足関節の3時間テーピング固定が, 運動皮質興奮性および姿勢制御にどのような影響を及ぼすか検討することを目的とした.

## II. 方法

### 1. 研究対象

#### 1) 対象者の選定

本研究の対象は, 健常成人6名(男性4名, 女性2名, 年齢 $25.3 \pm 5.6$ 歳)とした. 適格基準として, 神経学的疾患の既往がなく, 過去6か月以内に下肢の整形外科的疾患がない40歳未満の健常成人を選定した. 除外基準としては, TMSの禁忌事項に該当する対象者, 足関節に手術歴のある対象者, 重度の足関節不安定性を有する対象者とした.

#### 2) 倫理的配慮

本研究は, 大山リハビリテーション病院倫理審査委員会の承認を得たうえで実施した(承認番号: 1106). ヘルシンキ宣言に基づき, すべての被験者に対して研究の目的, 方法, 予想されるリスクと利益, 個人情報保護, ならびに研究への参加が自由意思であることについて, 文書および口頭で十分に説明を行い, 書面による同意を得た.

### 2. 実験手順

#### 1) テーピング固定

非利き足側の足関節に対して, アンダーラップと幅38mmのホワイトテープ(Cramer Japan社, 日本)を使用し, 以下の手順でテーピング固定を実施した. まず, 皮膚の

清拭を行った後, 日本スポーツ協会の足関節捻挫に対する基本方法に準じてアンダーラップを巻き付けた後, ホワイトテープを用いて固定を行った<sup>22)</sup>. 具体的には, アンカーテープを貼付し, スターアップ, ホースシュー, ヒールロック, フィギュアエイトの順にテーピングを施した(図1). テーピングは, トレーナー活動経験を有する理学療法士が担当し, その固定強度は足関節の底背屈方向の可動域を通常の約50%に制限する程度とした. なお, テーピング固定の時間は, 先行研究を参考に, 最短で皮膚活動の変化を及ぼし得る3時間とした<sup>12, 13)</sup>.

また, 被験者には, 固定中は日常生活範囲内の活動に留め, 激しい運動は避けるよう依頼した.

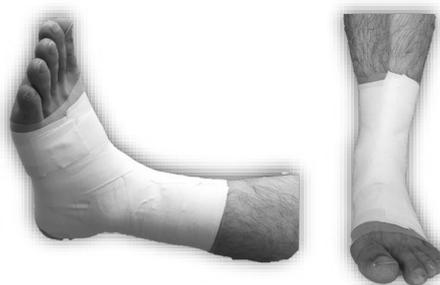


図1. 足関節のテーピング固定

#### 2) 測定タイミング

各評価項目の測定は, ベースラインとしてテーピング固定前に測定し, テーピング固定3時間後に固定を除去し, 同項目の測定を実施した.

### 3. 評価項目

#### 1) 運動皮質興奮性の評価

##### (1) 経頭蓋磁気刺激(TMS)

皮質脊髄路の興奮性は, 前脛骨筋およびヒラメ筋の運動誘発電位(Motor Evoked

Potential : MEP ) を指標とし、各筋の運動閾値 (resting Motor Threshold : rMT ) も測定した。MEP の記録は、各被験者が膝と足関節を 90° に曲げた椅子座位で行い、TMS は最適な位置に置かれた 8 の字コイル (直径 70mm) を用いて頭皮上で刺激を与えた。TMS コイルによる刺激点は、頭皮上に印をつけることで一貫性を保ち、実験中も適宜調整した。

磁気刺激は Magstim 200 (Magstim 社, 英国) を用いて行い、刺激強度は各筋の rMT の 120% に設定した。rMT は、10 回の試行のうち 5 回以上で 50  $\mu$  V 以上の MEP 振幅を誘発する最小刺激強度と定義した。MEP の測定は各被験者につき 20 回の試行を実施し、MEP 振幅を算出した。

電気信号の記録には、清潔にした皮膚上で筋の長軸上に配置した両極表面電極と、腓骨頭の遠位に配置した参照電極 (Ag-AgCl, 直径 5mm, 電極間距離 20mm) を用いた。電極位置は黒インクでマーキングし、テーピング固定後も同じ位置に戻して記録を行った。筋電図信号は、500 ~ 1,000 倍に増幅し、バンドパスフィルター (10 ~ 500Hz) でフィルター処理したうえで、1kHz のサンプリング周波数で記録した (PowerLab, ADInstruments 社, 米国)。

## (2) H 反射

脊髄の興奮性を表す指標として H 反射を用いた。H 反射の測定には、生体信号解析装置 PowerLab 26T (PowerLab, ADInstruments 社, 米国) を用いた。電気刺激には、PowerLab に接続された Isolated Stimulator を使用し、パルス幅 1ms とした。被験者は伏臥位とし、刺激部位は膝窩部の脛骨神経、記録筋はヒラメ

筋とした。刺激強度は、H 波の最大振幅の 50% を誘発する強度とし、10 回の試行を実施して H 波振幅値を解析した。

## 2) 姿勢制御機能の評価

### (1) 重心動揺測定

重心動揺測定には重心動揺計 (G-620, アニマ社, 日本) を使用した。測定はフォースプレート上にて開眼裸足片脚立位で実施し、被験者は前方 2m の指標を注視しながら 30 秒間保持した。サンプリング周波数は 20 Hz とし、測定肢は非利き足側とした。測定肢位の再現性を確保するため、両上肢は胸前で組ませ、支持側下肢は膝関節を過伸展させない範囲で伸展位に保持した。非支持側下肢は膝関節約 90° 屈曲位・股関節中間~軽度屈曲位とし、足部が床面および対側下肢に接触しないことを統一基準とした。これらの条件は計測中に目視でモニタリングした (図 2)。測定は、2 回実施した。

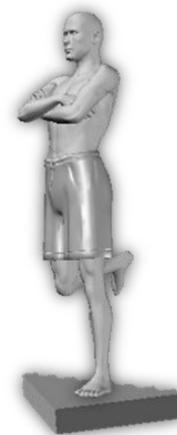


図2. 重心動揺検査実施時の姿勢

解析項目として、総軌跡長 (cm), 外周面積 (cm<sup>2</sup>), および足圧中心の前後・左右の揺れについて、周波数領域におけるパワースペクトルを高速フーリエ変換 (FFT) によって算出した。スペクトルエネルギーは

以下の3つの周波数帯に分けて評価した<sup>19)</sup>.

低周波帯域: 0.01 ~ 0.3 Hz

中周波帯域: 0.3 ~ 1 Hz

高周波帯域: 1 ~ 3 Hz

パワースペクトル解析では, 各周波数帯域のパワー比率 (%) を算出した.

(2) 筋電図 (surface electromyography: 以下 EMG) 測定

対象筋は, 片脚立位における足関節戦略を担う拮抗ペアである前脛骨筋とヒラメ筋とした<sup>23)</sup>. 電極の貼付位置は SENIAM の推奨位置に従った<sup>24)</sup>. EMG は重心動揺検査実施中に同時記録し, 測定肢位および試行回数は同検査条件に準拠した. サンプルング周波数は 1kHz とし, フィルター設定は 20 ~ 500Hz とした. 解析では, 片脚立位保持中の EMG 積分値を 3 秒間の最大随意収縮時の積分値で除算し割合 (%) を算出した.

4. 統計解析

1) 統計処理

統計解析では, 各測定項目を固定前後で Wilcoxon の符号順位検定を用いて比較した. 有意水準は 5% とした. さらに, サン

プルサイズの影響を除外する為に, 効果量  $r$  を算出した. 効果量の解釈は Cohen に基づき, 小: 0.1, 中: 0.3, 大: 0.5 とした<sup>25)</sup>. 統計処理には SPSS Statistics 26.0 (IBM 社, 米国) を使用した.

### III. 結果

3 時間のテーピング固定後, 参加者は誰も痛みや不快感を訴えず, 固定側には明らかな筋萎縮や浮腫はみられなかった. 結果は中央値 (四分位範囲) を示す.

1. 運動皮質興奮性の変化

1) MEP の変化

前脛骨筋におけるテーピング前後の MEP 振幅は, 固定前 0.24mV (0.18 - 0.34mV), 固定後 0.17mV (0.10 - 0.24mV) とテーピング後に有意に減少を示した ( $p = 0.03$ ,  $r = 0.76$ ; 効果量大) (図 3 左). また, ヒラメ筋における固定前後の MEP 振幅も, 固定前 0.11mV (0.08 - 0.15mV), 固定後 0.06mV (0.05 - 0.11mV) と有意な減少を示した ( $p = 0.03$ ,  $r = 0.77$ ; 効果量大) (図 3 右).

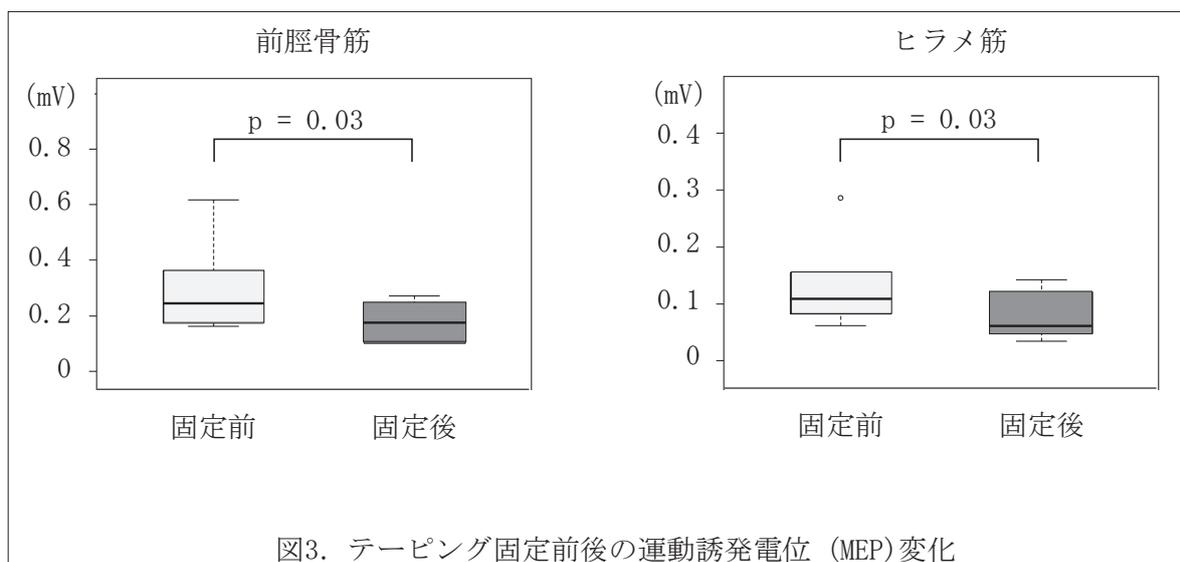
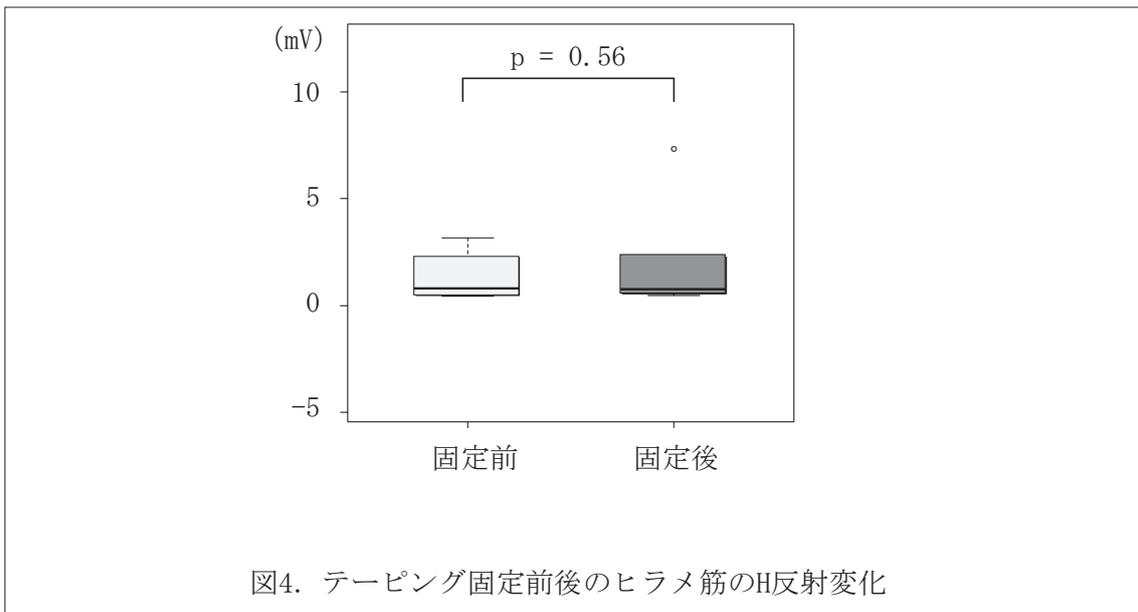


図3. テーピング固定前後の運動誘発電位 (MEP) 変化



2) H反射の変化

H反射に関しては、固定前のH波振幅は0.69mV (0.50 - 1.86mV) であり、固定後は0.70mV (0.55 - 1.91mV) であり、有意な変化は認められなかった ( $p = 0.56$ ) (図4).

2. 重心動揺の変化

1) 重心動揺パラメータ

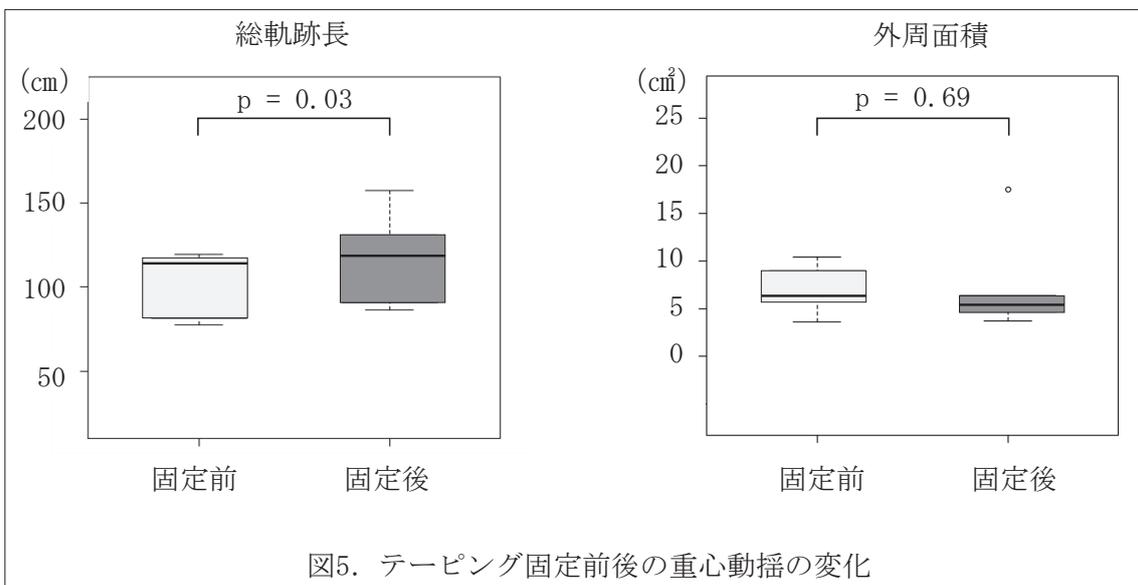
総軌跡長については、固定前が114.1cm (89.2 - 116.3cm), 固定後が118.3cm (97.1 - 128.3cm) であり、固定後の総軌跡長は

有意に増加した ( $p = 0.03$ ,  $r = 0.89$ ; 効果量大) (図5左).

外周面積に関しては、固定前は6.34 cm<sup>2</sup> (6.02 - 8.33 cm<sup>2</sup>), 固定後には5.42 cm<sup>2</sup> (4.67 - 6.29 cm<sup>2</sup>) であり、外周面積は固定前後で有意な変化は認められなかった ( $p = 0.69$ ) (図5右).

2) パワースペクトル

重心動揺のパワースペクトル解析では、低周波成分について、固定前は0.84% (0.81 - 0.87%), 固定後は0.77% (0.74 - 0.80%)



となり, 低周波成分は固定後に有意に減少した ( $p = 0.009$ ,  $r = 0.88$ ; 効果量大) (図6左). 中周波成分について, 固定前が0.14% (0.12 - 0.18%), 固定後は0.21% (0.18 - 0.24%) となり, 中周波成分は固定後に有意に増加した ( $p = 0.03$ ,  $r = 0.88$ ; 効果量大) (図6中央). 高周波成分について, 固定前は0.02% (0.009 - 0.019%), 固定後は0.02% (0.014 - 0.019%) となり, 高周波成分は固定前後で有意な変化は認められなかった ( $p = 0.3$ ) (図6右).

### 3. 筋活動の変化

前脛骨筋について, 固定前は21.9% (13.4 - 27.3%), 固定後は19.5% (14.5 - 24.0%) であり, 前脛骨筋活動は固定前後で有意な変化は認められなかった ( $p = 0.56$ ) (図7左). ヒラメ筋に関しても, 固定前は21.8% (14.7 - 31.1%), 固定後は31.7% (20.4 - 37.1%) であり, ヒラメ筋活動についても固定前後で有意な変化は認められなかった ( $p = 0.17$ ) (図7右).

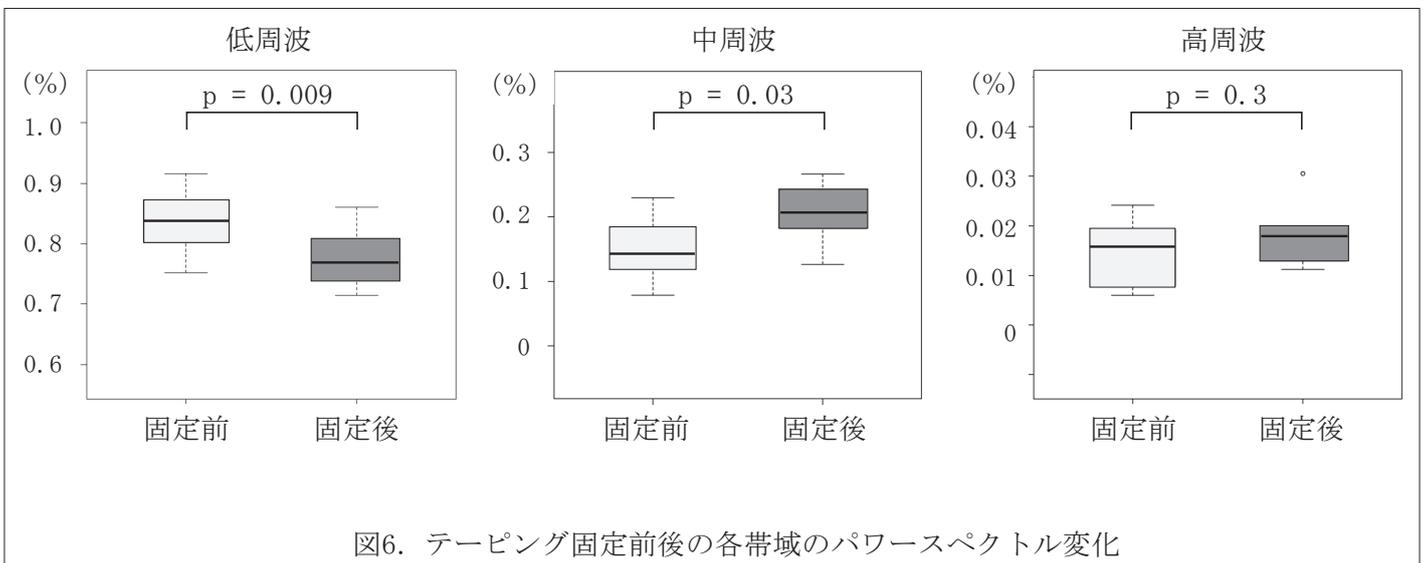


図6. テーピング固定前後の各帯域のパワースペクトル変化

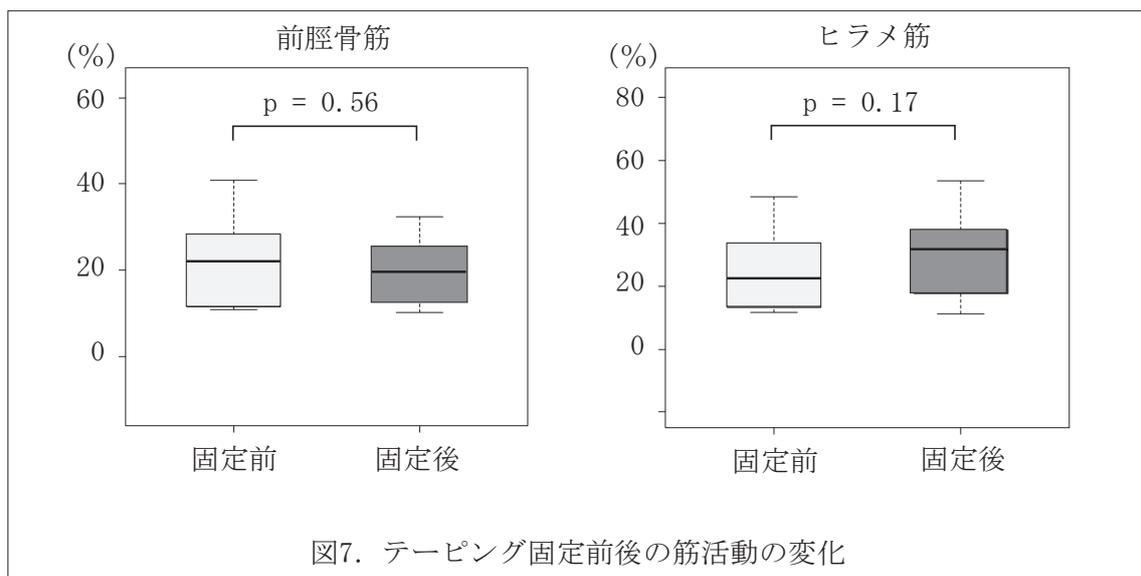


図7. テーピング固定前後の筋活動の変化

#### IV. 考察

本研究は、健常若年者を対象として3時間のテーピング固定が大脳皮質運動野の興奮性および重心動揺に与える影響を検討することを目的として実施された。

得られた結果から、3時間のテーピング固定により、大脳皮質運動野の興奮性低下、総軌跡長の増大、並びにパワースペクトル解析による低周波成分の減少と中周波成分の増大が示された。

##### 1. 運動皮質興奮性の変化

本研究では、固定後にTMSを用いて測定したMEPの振幅が有意に低下する一方で、H反射には有意な変化が認められなかった。この結果は、短時間の固定による求心性および遠心性の活動制限が、主に大脳皮質レベルでの可塑的な変化を引き起こし、脊髓興奮性には影響を及ぼさなかった可能性を示唆している。

MEPが減少した要因の一つに、関節固定による感覚フィードバック情報量の減少が考えられる。足関節およびこの関節運動に関与する筋からは絶えず皮膚感覚、固有感覚などの情報が中枢神経系へ投射されている<sup>26,27)</sup>。したがって、関節固定による感覚情報量の減少が運動野の興奮性を低下させた可能性が考えられる。実際、先行研究では、手の不使用時の皮質興奮性の低下は、固定した手からの固有受容情報の低下も原因であることが示唆されており<sup>28,29)</sup>、感覚入力の急激な変化に対する中枢神経系の可塑的適応を示唆している。本研究では、詳細な感覚機能の評価は行っていないが、先行研究と同様に感覚入力の減少が運動野の興奮性を変化させる重要な要因である可能性を示唆している。

また、MEPの低下には大脳皮質における短期的なシナプス可塑性が関与している可能性もある。活動依存的な可塑性の一種である長期抑圧(LTD)様の変化は、求心性入力の変化によって比較的短時間で誘導されることが知られている<sup>30)</sup>。このような興奮性シナプスのダウンレギュレーションは、感覚入力の変化に適応するための生理的な調節機構と考えられる。また、短時間の固定後には運動野内の抑制機構が一時的に増大し、促進機構が低下することがTMSの2連発刺激法を用いた研究で報告されている<sup>31)</sup>。本研究では皮質内回路を直接評価していないため、今後の研究でMEP振幅の減少と皮質抑制メカニズムとの関与については検証する必要がある。

##### 2. 姿勢制御機能への影響

重心動揺検査では、固定後に総軌跡長が有意に増加したにもかかわらず、外周面積に有意な変化を認めなかった。この結果は、被験者が片脚立位中に大きく姿勢を崩すことなく、重心範囲を一定に保ちながらも、頻繁な姿勢修正を必要としたことを意味する。このような高頻度の随意的修正には、体性感覚入力を基に一次運動野から筋へ遠心性指令を送る皮質脊髓路が関与すると考えられている<sup>32)</sup>。Ikedaらは、健常成人男性において一側下肢を10時間ギプス固定し、その前後で重心動揺検査を実施した。その結果、固定後には総軌跡長が有意に増加した一方で、外周面積には有意な変化が認められなかった。著者らは、これらの結果を固定による中枢神経系の可塑性変化や体性感覚情報の処理の変化といった影響と結論付けている<sup>33)</sup>。実際、本研究においてもプロトコルこそ異なるものの、運動皮質

の興奮性は低下し、重心動揺においても先行研究と同様の結果が得られた。

さらに、パワースペクトル解析では、固定後に低周波 (0.01-0.3 Hz) が減少し、中周波 (0.3-1 Hz) 成分の増加が認められた。姿勢制御では、中枢神経系が前庭や固有感覚の重みを環境に応じて再調整することが知られており<sup>34)</sup>、中周波の増加は前庭・体性感覚への依存度の高まりを示すとされる<sup>35,36)</sup>。また、この周波数帯は体幹・股関節戦略の関与を反映しており<sup>37)</sup>、本研究でも足関節制御の低下を補う形で、体幹・股関節や前庭系の寄与が相対的に増加したと考えられる。一方、低周波成分は主に脊髄上 (中枢) 制御によるゆっくりとした姿勢調整と関連していると言われており<sup>38)</sup>、本結果の低周波成分の低下は運動皮質活動の低下が影響したものと考えられる。

姿勢制御と皮質活動の関連について、本研究で測定した MEP は安静時の値であり、動的な姿勢制御中の神経活動を直接反映したものではない。そのため、MEP 低下が姿勢制御の変化に直結しているとは断定できないが、少なくとも固定によって皮質興奮性が低下していたという背景が、姿勢制御に必要なフィードバックおよびフィードフォワードプロセスを阻害し<sup>39)</sup>、姿勢制御の神経的負担を増加させ、代償的な戦略 (中周波数帯の増加) を促した可能性が考えられる。

興味深いことに、総軌跡長やパワースペクトルに変化が認められた一方で、筋活動量 (EMG 振幅) には有意な変化が見られなかった。Caplan らは、1 週間の固定により筋力およびバランス機能の低下を示している<sup>40)</sup>。本研究の固定時間は3時間と短く、

この固定時間の違いが筋活動量に影響を及ぼさなかった要因の一つと考えられる。さらに、片脚立位では両脚立位に比べて足部内在筋の活動が高まるとされており<sup>41)</sup>、本研究の計測姿勢が片脚立位であったことから、外在筋の活動変化が相対的に小さく、顕在化しなかった可能性がある。

総じて本研究の結果は、短時間の関節固定であっても中枢神経系に可塑的な変化が生じ、それが姿勢制御に影響を与えることを示唆するものであり、不使用状態に対する中枢神経系の迅速な適応を支持する知見といえる。

### 3. 臨床的意義

本研究の結果は、テーピング固定が姿勢制御戦略に影響を及ぼす可能性を示しており、臨床的に以下の点に留意する必要がある。

第一に、傷害予防効果と機能制限のバランスを考慮する必要がある。テーピングは足関節の安定性向上に寄与する一方で、過度な固定は神経筋制御の低下を招く可能性があるため、適切な固定強度や装着時間、適応対象を検討することが重要である。

第二に、固定時間の適切な設定が必要である。本研究では3時間の固定後に運動皮質興奮性の低下が認められたが、より長時間の固定がさらなる神経適応を引き起こす可能性があるため、最適な固定時間についてさらなる研究が求められる。

### 4. 研究の限界と今後の課題

本研究にはいくつかの限界がある。

第一に、サンプルサイズが小さい点が挙げられる。本研究は6名の健康成人を対象としており、統計的な検出力の制限がある可能性がある。サンプル数が少ないにもか

かわらず、効果量が大きいことから ( $r = 0.88 - 0.76$ ) 一定の有用性が示唆されるものの、今後はよりサンプル数を増やし、結果の信頼性を高める必要がある。

第二に、健常者のみを対象としている点がある。本研究の結果は健常者における神経適応を示すものであり、足関節に問題を抱える対象者において同様の影響が生じるかは不明である。今後は異なる対象群を含めた研究が求められる。

第三に、固定の影響が短時間のみに限定されている点がある。本研究では3時間の固定後の変化を評価したが、より長時間の固定がどのような影響を及ぼすかについては検討されていない。長時間の固定による神経可塑性や運動機能への影響を明らかにするため、長期的な追跡研究が必要である。第四に、EMG測定を前脛骨筋およびヒラメ筋の2筋に限定したため、姿勢制御機序の解釈には制約がある。今後は計測筋を拡張し、多筋同時計測によって機序の検証を進める必要がある。

以上の点を踏まえ、本研究の結果は足関節のテーピング固定が運動皮質興奮性および姿勢制御に与える影響を示す重要な知見を提供するものであるが、今後さらなる研究を行い、外的妥当性を高める必要がある。

## V. 結論

本研究では、足関節を3時間テーピングで固定することにより、前脛骨筋およびヒラメ筋の運動皮質興奮性が有意に低下した。

加えて、片脚立位における重心動揺検査の結果、総軌跡長が有意に増加し、さらにパワースペクトル解析においては低周成分

が減少し、中周波成分が増加していた。これらの変化は、足関節からの求心性感覚入力減少により、随意的な姿勢制御能力が低下し、調節系としては前庭系への依存が相対的に高まる一方で、運動出力としては体幹および股関節主導の戦略が強調された可能性を示している。特に中周波帯の増加は、姿勢の不安定さに対してより頻繁かつ迅速な修正運動が必要となったことを示唆するものであり、短時間の固定であっても神経筋制御に対する即時的な影響が生じ得ることを示している。

## VI. 謝辞

本研究の実施にあたり、多大なるご協力を賜りました被験者の皆様に心より感謝申し上げます。

また、データ収集にご助力いただいた大山リハビリテーション病院のスタッフの皆様にも深く御礼申し上げます。

## VII. 利益相反

本研究に関して、開示すべき資金提供および利益相反はありません。

## VIII. 文献

1. Verhagen EA, van Mechelen W, de Vente W.: The effect of preventive measures on the incidence of ankle sprains. Clin J Sport Med, 2016, 10(5), pp.291-296.
2. Needle AR, Kaminski TW, Baumeister J, et al.: The relationship between joint stiffness and muscle activity in unstable ankles and copers. J Sport Rehabil, 2017,

- 26(1), pp.15-25.
3. Langer N, Hänggi J, Müller NA, et al.: Effects of limb immobilization on brain plasticity. *Neurology*, 2012, 78, pp.182-188.
  4. Lissek S, Wilimzig C, Stude P, et al.: Immobilization impairs tactile perception and shrinks somatosensory cortical maps. *Curr Biol*, 2009, 26, 19(10), pp.837-42.
  5. Huber R, Ghilardi MF, Massimini M, et al.: Arm immobilization causes cortical plastic changes and locally decreases sleep slow wave activity. *Nat Neurosci*, 2006, 9, pp.1169-1176.
  6. Clark BC, Issac LC, Lane JL, et al.: Neuromuscular plasticity during and following 3 wk of human forearm cast immobilization. *J Appl Physiol*, 2008, 105, pp.868-878.
  7. Ngomo S, Leonard G, Mercier C,: Influence of the amount of use on hand motor cortex representation: effects of immobilization and motor training. *Neuroscience*, 2012, 220, pp.208-214.
  8. Bassolino M, Campanella M, Bove M, et al.: Training the motor cortex by observing the actions of others during immobilization. *Cereb Cortex*, 2014, 24, pp.3268-3276.
  9. Burianová H, Sowman PF, Marstaller L, et al.: Adaptive motor imagery: a multimodal study of immobilization-induced brain plasticity. *Cereb Cortex*, 2016, 26, pp.1072-1080.
  10. Okamoto Y, Ishii D, Yamamoto S, et al.: Effects of short-term upper limb immobilization on sensory information processing and corticospinal excitability. *Exp Brain Res*, 2022, 240, pp.1979-1989.
  11. Opie GM, Evans A, Ridding MC, et al.: Short-term immobilization influences use-dependent cortical plasticity and fine motor performance. *Neuroscience*, 2016, 330, pp.247-256.
  12. Karita T, Matsuura A, Kondo Y, et al.: Time course of changes in corticospinal excitability after short-term forearm/hand immobilization. *Neuroreport*, 2017, 28, pp.1092-1096.
  13. Karita T, Matsuura A, Kondo Y, et al.: Effect of three-hour ankle joint immobilization with an ankle foot orthosis on corticospinal excitability and ankle joint angle excursion during gait. *J Phys Ther Sci*, 2023, 35(12), pp.777-782.
  14. Horak, F.B. Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing*, 2006, 35, ii7-ii11.
  15. Peterka RJ. Sensory integration for human balance control. *Handb*

- Clin Neurol, 2018, 159, pp.27-42.
16. Ivanenko Y, Gurfinkel VS.: Human Postural Control. *Front Neurosci*, 2018, 12, p.171.
  17. Riemann BL, Lephart SM.: The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *J Athl Train*, 2014, 37(1), pp.71-79.
  18. Diener HC, Dichgans J, Guschlbauer B, et al.: The significance of proprioception on postural stabilization as assessed by ischemia. *Brain Res*, 2014, 296(1), pp.103-109.
  19. Nagy E, Toth K, Janositz G, et al.: Postural control in athletes participating in an ironman triathlon. *Eur J Appl Physiol*, 2004, 92(4-5), pp.407-13.
  20. Laughton CA, Slavin M, Katdare K, et al.: Aging, muscle activity, and balance control: physiologic changes associated with balance impairment. *Gait Posture*, 2018, 18(2), pp.101-108.
  21. Nagy E, Feher-Kiss A, Barnai M, et al.: Postural control in elderly subjects participating in balance training. *Eur J Appl Physiol*, 2016, 100(1), pp.97-104.
  22. 公認アスレチックトレーナー専門科目テキスト. 公益社団法人 日本スポーツ協会, pp.228-229
  23. Kurz E, Faude O, Roth R, et al.: Ankle muscle activity modulation during single-leg stance differs between children, young adults and seniors. *Eur J Appl Physiol*. 2018, 118(2), pp.239-247.
  24. SENIAM project: Recommendations for sensor locations on individual muscle, Retrieved March 18, 2017, available from <http://www.seniam.org/>
  25. Cohen J,: Statistical power analysis for the behavioral sciences. Lawrence Erlbaum Associates, New York, 1988.
  26. Rossignol S, Dubuc R, Gossard JP,: Dynamic sensorimotor interactions in locomotion. *Physiol Rev*, 2006, 86, pp.89-154.
  27. Nielsen JB,: How we walk: central control of muscle activity during human walking. *Neuroscientist*, 2003, 9, pp.195-204.
  28. Avanzino L, Bassolino M, Pozzo T, et al.: Use-dependent hemispheric balance. *J Neurosci*, 2011, 31, pp.3423-3428.
  29. Avanzino L, Pelosin E, Abbruzzese G, et al.: Shaping motor cortex plasticity through proprioception. *Cereb Cortex*, 2014, 24, pp.2807-2814.
  30. Ziemann U, Hallett M, Cohen LG.: Mechanisms of deafferentation-induced plasticity in human motor cortex. *J Neurosci*, 1998, 18(17), pp.7000-7007.
  31. King EM, Edwards LL, Borich MR.:

- Short-term arm immobilization modulates excitability of inhibitory circuits within, and between, primary motor cortices. *Physiol Rep*, 2022, 10(12), e15359.
32. Tokuno CD, Taube W, Cresswell AG.: An enhanced level of motor cortical excitability during the control of human standing. *Acta Physiol (Oxf)*, 2009, 195(3), pp. 385-395.
33. Ikeda T, Oka S, Tokuhiko J, et al.: Short-Term Cast Immobilization of a Unilateral Lower Extremity and Physical Inactivity Induce Postural Instability during Standing in Healthy Young Men. *Healthcare (Basel)*, 2023, 11(18), p. 2525.
34. Cenciarini M, Peterka RJ.: Stimulus-dependent changes in movement strategies during human postural control. *J Neurophysiol*, 2006, 95(5), pp. 2733-2750.
35. Fujimoto C, Kamogashira T, Kinoshita M, et al.: Power spectral analysis of postural sway during foam posturography in patients with peripheral vestibular dysfunction. *Otol Neurotol*, 2014, 35(10), e317-23.
36. Kanekar N, Lee YJ, Aruin AS.: Frequency analysis approach to study balance control in individuals with multiple sclerosis. *J Neurosci Methods*, 2014, 222, pp. 91-66.
37. Peterka RJ.: Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol*, 2002, 88(3), pp. 1097-118.
38. Moreno FJ, Caballero C, Barbado D. Postural control strategies are revealed by the complexity of fractional components of COP. *J Neurophysiol*. 2022, 127 : pp. 1289 - 1297.
39. Marchese SM, Farinelli V, Bolzoni F, et al.: Overview of the cerebellar function in anticipatory postural adjustments and of the compensatory mechanisms developing in neural dysfunctions. *Appl Sci*, 2020, 10, p. 5088.
40. Caplan N, Forbes A, Radha S, et al.: Effects of 1 week of unilateral ankle immobilization on plantar-flexor strength, balance, and walking speed: a pilot study in asymptomatic volunteers. *J Sport Rehabil*, 2015, 24(2), pp. 156-162.
41. Kelly LA, Kuitunen S, Racinais S, et al.: Recruitment of the plantar intrinsic foot muscles with increasing postural demand. *Clin Biomech (Bristol)*, 2012, 27(1), pp. 46-51.

Shimane Rehabilitation College  
島根リハビリテーション学院紀要



総説論文

# チョコレートによるWell-Beingへの展開

(Keywords: ダークチョコレート/テオブロミン/精神神経疾患)

杉本直俊

## 要旨

近年, カカオ成分の多いダークチョコレートが人気を集めている. カカオにはカカオポリフェノールとテオブロミンが多く含まれていることから, これらの成分による健康効果が期待される. 特にテオブロミンにはヒトの認知機能の向上が証明されているが, 脳内のドパミンとノルアドレナリンのバランス調節やモノアミン神経伝達物質の増加に寄与する可能性があることから, 注意欠如・多動症 (ADHD) の改善やうつ症状減少に期待できる.

---

2025年9月4日受理

金沢大学医薬保健研究域保健学系リハビリテーション科学領域  
石川県金沢市小立野5-11-80 (〒920-0942)

TEL: 076-265-2500 (代表) E-mail: ns@med.kanazawa-u.ac.jp

## I. はじめに

令和6年1月1日に発生した令和6年能登半島地震の揺れを約80km南の金沢で経験した。金沢は震度5強であったが、輪島、珠洲などの能登半島（奥能登地域）では震度7であり、ニュースでも報道された様に入々、生活、インフラなどに甚大な被害が発生した。能登半島は島根半島のように日本海に突き出しており、入り組んだリアス式海岸と海岸までせり出した丘陵や山地が特徴である。そのため能登半島震災ではその直後からアクセス路が分断され、サプライチェーン特に食物供給チェーンが混乱したことから、多くの被災者が飢えに耐え苦しんだ。

非常食は災害などの緊急事態により通常の食糧の供給が困難になった時のための食糧であり、保存できる食品と定義できる。さらに付け加えれば、栄養のバランスが良く、調理が不要もしくは少ない手間ですべられ、軽量・コンパクトなのに高カロリーが理想である。チョコレートは古くから嗜好品として大人や子どもに親しまれてきた食品であると同時に保存が可能で、軽量であるにも関わらず高カロリーな食品である。かつ、栄養価も評価されており、近年ではチョコレートの健康効果にも注目が集まっている。チョコレートにはカカオポリフェノールとテオブロミンが含まれており、多岐にわたる健康効果を持つことが明らかにされてきた。

本総説では、チョコレートの効能につい

て概説するとともに、私たちがこれまでに明らかにしてきたテオブロミンの健康効果について詳述したい。

## II. チョコレートの歴史と主な成分

### 1. チョコレートの原料、カカオの歴史

チョコレートの主原料はカカオである。カカオの学術名は *Theobroma cacao* であり、*Theobroma* はギリシャ語で「神様 (theos)」の「食べ物 (broma)」を意味する。カカオが古代文明において神聖視されていたことを意味している<sup>1)</sup>。古代から南米大陸で生息していたカカオは16世紀後半にスペインの探検家エルナン・コルテスによって発見された。当時、南米のアステカやマヤ文明では、カカオ豆は非常に重要な存在であり、カカオは飲み物として王族や貴族の間でのみ愛飲されていた。その価値の高さからカカオが貨幣としても使用されたとの記録が残っている。アステカではカカオ100粒で奴隷一人を購入できるほどの価値があったと言われている<sup>1)</sup>。

### 2. テオブロミンの発見とメチルキサンチン誘導体

1878年に、カカオ豆から抽出されたアルカロイドがテオブロミン (Theobromine) と命名された。テオブロミンは、カフェインやテオフィリンと同じメチルキサンチン誘導体であり、これらの化合物は似た構造を持っている (図1)。

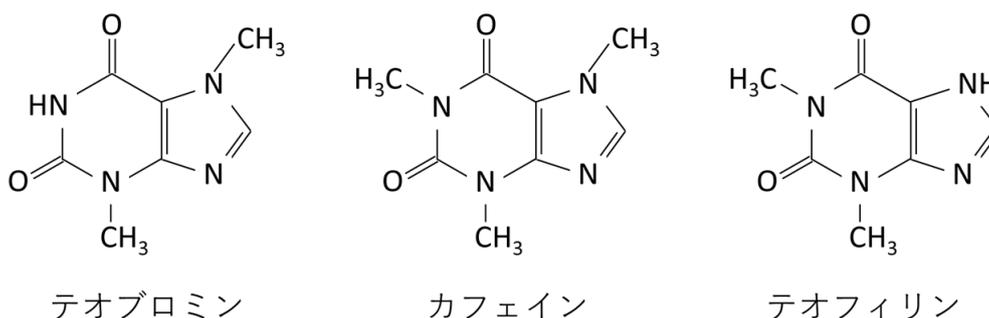


図1 嗜好食品に含まれるメチルキサンチン誘導体

嗜好食品にはメチルキサンチン誘導体を成分にもつ食品が数多く、チョコレートやココアにはテオブロミンが多く含まれ、コーヒーや緑茶・紅茶にはカフェインやテオフィリンが多く含まれている。テオフィリンは気管支を拡張することから喘息の治療薬でもある。

### 3. チョコレートの成分と苦みについて

チョコレートの主原料はカカオであり、カカオ豆を発酵・乾燥・焙煎してすり潰すことでカカオマスが出来る。カカオマスはココアパウダーとココアバターからなる<sup>1)</sup>。チョコレートはカカオマスやココアバターに砂糖、ミルクなどを加えられ、これらの成分が様々な分量で組み合わせることで、多くの種類のチョコレートが作られる。カカオマス（特にココアパウダー）はチョコレートの風味と色の基となり、ココアバターは滑らかな口溶けを生み出す。砂糖はチョコレートの甘味を生む。

近年、健康に良いとしてカカオ成分の多いダークチョコレートが人気を集めているが、菓子メーカーが表示する「カカオ含有〇〇%」は単位チョコレート当たりに含まれる「カカオマス」と「ココアバター」の合計である。カカオマス(ココアパウダー)に健康効果のあるカカオポリフェノールとテオブロミンが含まれていることから、同じカカオ含有率であっても「カカオマス」を多く含むチョコレートの方が健康効果が期待され、やや苦みのある、甘くないチョコレートになる傾向がある。

### 4. ノーベル賞とチョコレートとの意外な関係

2024年のノーベル平和賞は核兵器の非人道性を語り継ぎ、核廃絶の必要性を唱えてきた日本原水爆被害者団体協議会（日本被団協）が受賞した。これまでノーベル賞を個人で受賞した日本人（受賞時日本国籍）は25名である。私たち科学に身を置く者は勿論のこと、子どもたちの多くは世界最高峰の賞であるノーベル賞に憧れたことであろう。ノーベル賞が設置され約100年以上経過した21世紀にとっても夢のある論文が発表された。それは「国別のノーベル賞受賞者数」と「国別チョコレート消費量」との関係が正の相関関係にある可能性に触れた論文である<sup>2)</sup>。まさにチョコレート消費量の多い国がノーベル賞受賞者を多く輩出していることがうかがい知れる内容で、思わずチョコレートを食べたくなる。

## III. カカオポリフェノールと健康

### 1. カカオポリフェノールについて

チョコレートには多くのカカオポリフェノールが含まれる。フレンチ・パラドックスで有名になったレスベラトロールもポリフェノールの一種である。一般にポリフェノールは強い抗酸化作用を有しており、ポリフェノールの摂取が、抗炎症作用、抗アレルギー作用、認知機能維持作用などに有効であることが報告されている。

カカオポリフェノールは、カカオ豆に含まれるポリフェノールの総称で、主にエピカテキンとカテキン、そして、それらがいくつか結合したプロシアニジン類から成る。エピカテキン、カテキンとプロシアニジン類は、フラボノイド骨格を持つことからフラバノールに分類される。エピカテキン(図2)はカテキンの異性体であり、カ

テキンと同じ化学式で、2つの芳香環とそれらをつなぐジヒドロピラン環を持つ。

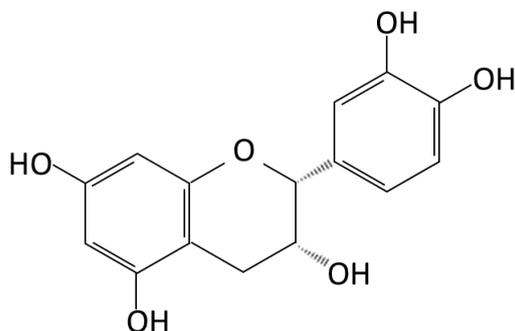


図2 エピカテキン

## 2. エピカテキン・カテキンの効果

エピカテキン、カテキンによる健康維持や増進に関する研究は多く、その概要を下記にまとめる<sup>3)</sup>。

### 1) 抗酸化作用

活性酸素による酸化ストレスは細胞を傷害し、老化やがん、生活習慣病の原因となる。エピカテキン、カテキンは体内の活性酸素を除去し、細胞の酸化ストレスを軽減し、老化や生活習慣病の予防に寄与する。

### 2) 動脈硬化の予防

動脈硬化は心筋梗塞や脳卒中などの重大な心血管疾患の原因となる。エピカテキン、カテキンは血管内の LDL コレステロールの酸化を防ぎ、動脈硬化の進行を抑制し、重大な心血管疾患の予防およびリスクを低減する効果が期待される。

### 3) 血圧の低下

エピカテキン、カテキンには血管を拡張する作用があり、血圧の正常化が期待され、高血圧の予防や改善に役立つ。また、血管を拡張する作用は老化による脳血流の低下を改善し、認知機能を向上させる効果が期待される。

## IV. ダークチョコレート / テオブロミンと健康

### 1. ダークチョコレートの効果

私たちの研究成果なかで、まずはダークチョコレートの認知機能に関する成果を示す<sup>4)</sup>。20名の若者のボランティアをランダムに2群に分け、1日当たり24gのダークチョコレートと1日当たり24.5gのホワイトチョコレート摂取の介入研究を行った。それぞれのチョコレートを毎日、約30日間の摂取実験である。当初、ダークチョコレートの連続摂取は難しいと思われていたが、意外にもダークチョコレート摂取の若者には脱落者はなく、ホワイトチョコレート摂取者で甘さに耐えられなくなり2名の脱落者が現れた。認知機能については注意や処理速度に関して、チョコレート摂取前と約30日間のチョコレート摂取期間終了後の2回調査した。チョコレート摂取前のホワイトチョコレート摂取群（コントロール群）とダークチョコレート摂取群の間には認知機能の違いは認めなかった。30日間の摂取前後に於いてホワイトチョコレート摂取群では認知機能の違いを認めなかったが、ダークチョコレート群では有意に認知機能の向上を認めた。また、ダークチョコレート摂取群の認知機能の向上はコントロールであるホワイトチョコレート摂取群と比較しても明らかに向上を示した。さらに興味あることに、この認知機能向上はダークチョコレート摂取を中止してからも少なくとも3週間は継続していた<sup>4)</sup>。

### 2. ダークチョコレートによる“賢さ”の分子基盤

認知機能の向上，“賢さ”の分子基盤と

して、脳由来神経栄養因子 (BDNF) や神経成長因子 (NGF) が知られている。脳由来神経栄養因子 (BDNF) や神経成長因子 (NGF) は、中枢神経や末梢神経に作用して、現存するニューロンの維持に働くとともに、ニューロンの成長や新生を促す。脳の中では、脳由来神経栄養因子 (BDNF) や神経成長因子 (NGF) は、海馬、大脳皮質、大脳基底核で主に作用し、学習や記憶、高度な思考に重要であり、これら認知機能に関与すると考えられている。私たちの実験ではダークチョコレート摂取群で有意に血中の神経成長因子 (NGF) 濃度の増加が観察された。一方、血中脳由来神経栄養因子 (BDNF) 濃度の増加は認めなかったが、脳内での脳由来神経栄養因子 (BDNF) の動向は不明のままであった (本結果から脳内の局所における増加は否定できない) <sup>4)</sup>。愛知学院大学と (株) 明治との共同研究「チョコレート摂取による健康効果に関する実証研究」では、脳由来神経栄養因子 (BDNF) の増加が報告されている <sup>5)</sup>。

### 3. テオブロミンの効果

私たちが実施したボランティア研究では

ダークチョコレートの認知機能への作用が明らかになった <sup>4)</sup> が、ダークチョコレートのどの成分が脳のどの部位に働いたのかは解明できなかった。そこで、ダークチョコレートの成分であるテオブロミンの脳への作用を明らかにするために動物実験を行った <sup>6,7)</sup>。

普通の餌にテオブロミンを混合したテオブロミン含有食餌 (0.05% W/W) を特注した。コントロール群として普通食餌を、テオブロミン群としてテオブロミン含有食餌 (0.05% W/W) を 30 日間経口摂取させた。その間の摂食量、体重増加量、30 日後の血糖値およびテオブロミン濃度を測定した。普通食餌にはテオブロミンが含まれていないことを前もって確認している。両群とも摂取開始 30 日後に同等程度の摂食量、体重増加量、そして血糖値を示した。

コントロール群の血中と脳内からはテオブロミンは検出されなかったが、テオブロミン群では血中と脳内にテオブロミンのみが検出された。また、脳内のテオブロミン濃度は血中の約 10 分の 1 程度であった (図 3)。以上は、テオブロミンが脳血液関門を通過できるが、脳血液関門の通過は自由

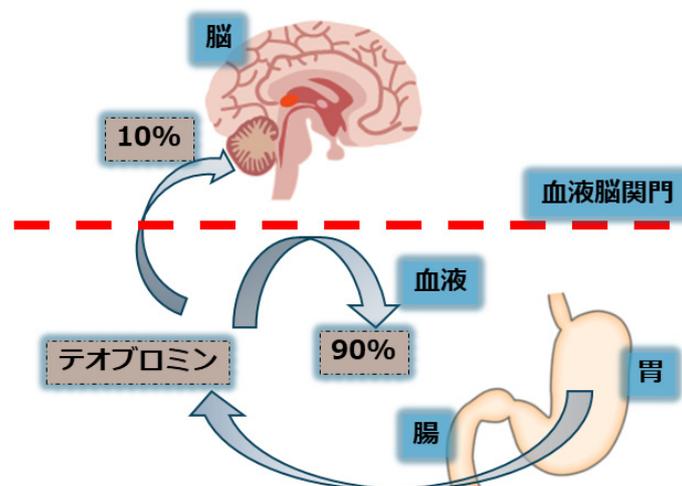


図 3 テオブロミン経口摂取後の動態

ではなく制限があることを示している。テオブロミン含有特殊食餌群においてオペラント学習などで能力向上を認め、認知機能の向上が証明された。また、この認知機能の向上はテオブロミン含有特殊食餌をやめてからも少なくとも 30 日間の継続を認めた。このテオブロミン摂取の動物実験（マウスとラット）の結果がダークチョコレート摂取のボランティアの介入研究とほぼ同じ認知機能を向上する結果であることから、ダークチョコレートに含まれる成分の中でもテオブロミンが認知機能向上とその持続に強く関与するのではないかとと思われる<sup>6,7)</sup>。

テオブロミン摂取動物での認知機能向上を誘導する分子基盤として、動物の脳、特に海馬、大脳皮質で脳由来神経栄養因子 (BDNF) が増加することが確認できた<sup>6)</sup>。脳由来神経栄養因子 (BDNF) は脳血液関門を通過できないことを考慮すると、ダークチョコレートを食べたボランティアの脳内では脳由来神経栄養因子 (BDNF) が増加しているのではないかと想像できる。

#### 4. テオブロミンの精神疾患応用への可能性

##### 1) 注意欠如・多動症 (ADHD) への応用

子どもの約 5%、成人の約 2.5% が注意欠如・多動症 (ADHD) に罹患していると言われている。注意欠如・多動症 (ADHD) は脳内神経伝達物質であるドパミンとノルアドレナリンのバランスの崩壊が原因と考えられている。

自然発症高血圧ラット (SHR) は 1960 年代に Wistar-Kyoto 系ラット (WKY) の近親交配により生成された高血圧を自然

発症する「高血圧ラット」として有名であるが、同時に注意欠如・多動症 (ADHD) のモデル動物としても広く研究に用いられている。私たちは、上記の動物実験と同様のテオブロミン含有飼料を自然発症高血圧ラット (SHR) に 40 日間与えたところ多動性が有意に減少することを発見した<sup>8)</sup>。さらに脳内では、ドパミン合成酵素の一つチロシン水酸化酵素 (図 4) の発現が亢進すること、ドパミン濃度が増加していることを観察した。自然発症高血圧ラット (SHR) ではテオブロミンにより脳内のドパミンが増えることで、ドパミンとノルアドレナリンのバランスが改善され多動などの症状の減少が起きたものと考えられた。

##### 2) うつ症状への応用

一方、注意欠如・多動症 (ADHD) の子どもや大人では、うつ病などの精神疾患や自閉スペクトラム症 (ASD)、双極性障害、限局性学習症 (学習障害)、チック症などの神経発達症 (発達障害) を伴うことが多い。うつ病発症メカニズムの仮説として、モノアミン仮説が提唱されている。モノアミン仮説によれば、うつ病は脳内のモノアミン (セロトニン、ノルアドレナリン、ドパミンなど) の不足が原因であるとされる。1950 年代に、特定の薬物が気分に影響を与えることが発見され、これがモノアミン仮説の基礎となった。この仮説に基づいて、モノアミンの濃度を高める抗うつ薬 (選択的セロトニン再取り込み阻害薬 SSRI やセロトニン・ノルアドレナリン再取り込み阻害薬 SNRI など) が開発され、現在も治療に用いられている (ただし、モノアミン仮説だけではうつ病の全てを説明はできない)。

先に私たちは、注意欠如・多動症 (ADHD) モデル動物である SHR ラットにテオブロミン含有飼料を与えた結果、多動性の減少とドパミン合成酵素の一つチロシン水酸化酵素の発現が亢進することを述べた。チロシン水酸化酵素はチロシンからドパミンの前駆物質であるドーパを合成する酵素であるが、図4に示すようにノルアドレナリン合成においても中心的な酵素である。チロシン水酸化酵素の増加はドパミン合成のみならず、

ノルアドレナリン合成へ波及すると考えられる。

つまり、テオブロミンが脳内ドパミンを増加させると同時に、脳内ノルアドレナリン合成を促進することで、テオブロミンを高濃度に含むダークチョコレートの摂取がうつ病にも効果がある可能性を示唆している。実際、注意欠如・多動症 (ADHD) 治療薬によりうつ病症状も改善することが知られている。

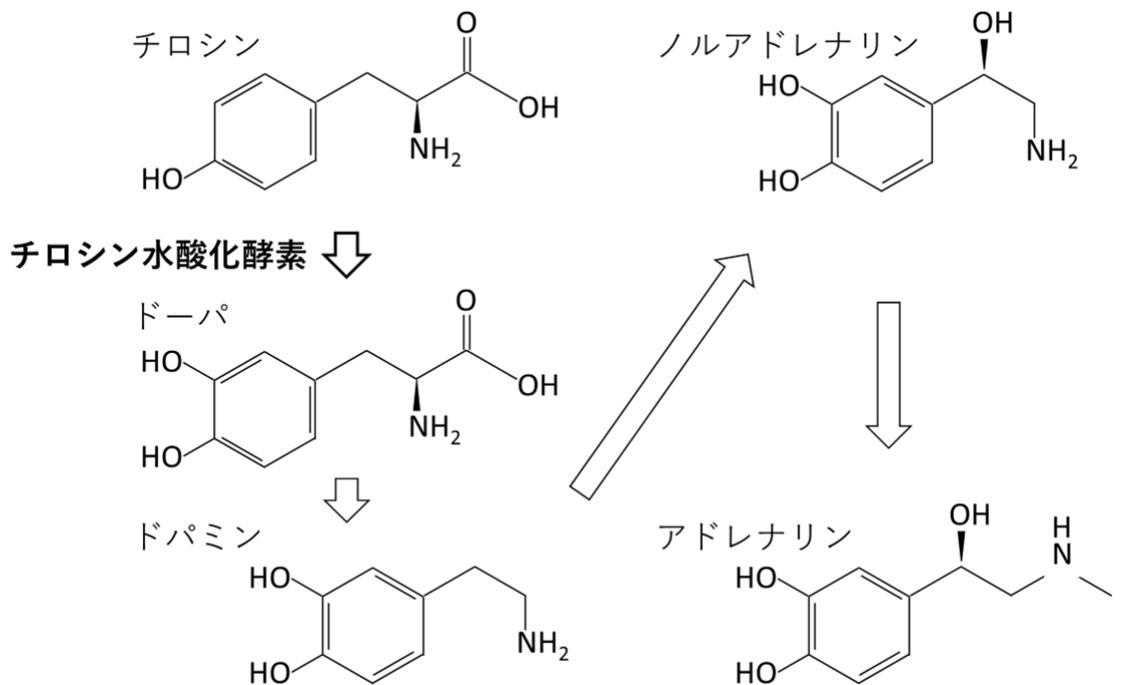


図4 チロシン、ドパミン、ノルアドレナリンの合成経路

### 3) テオブロミンのその他の効果

私たちは、動物実験も含め、培養細胞を用いた解析も行ってきた<sup>9,10)</sup>。その結果、テオブロミンは細胞増殖に関するシグナル (mTOR シグナル, Ras-ERK シグナル, そして炎症シグナル NF- $\kappa$ B) の抑制と細胞

死を誘導するシグナル (p38 と JNK) を活性化した (図 5)。このことはテオブロミンにより“がん”が抑制される可能性を示唆している。私たちの研究結果では、テオブロミンが神経膠芽腫の増殖を抑制した<sup>9)</sup>。

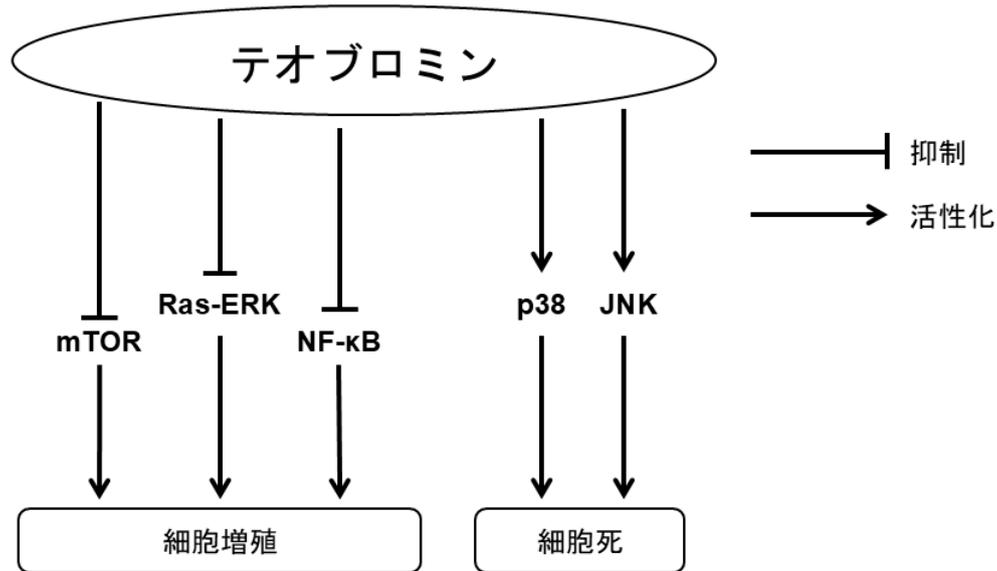


図 5 テオブロミンのその他の作用

一方、mTOR シグナル系は細胞増殖に関するのみならず、全身諸臓器で多彩な機能を制御しており、その中でも脳の機能制御において重要な役割を演じている。結節性硬化症は mTOR シグナルの活性化に起因する先天性異常であり、その神経精神症状とし発達障害、うつ病などの精神疾患や自閉スペクトラム症 (ASD)、そして注意欠如・多動症 (ADHD) が知られていることから、テオブロミンによる mTOR シグナルの制御の機序からもうつ病、自閉スペクトラム症 (ASD)、そして注意欠如・多動症 (ADHD) に効果があるものと思われる。つまり、テオブロミンには、先に述べたテオブロミンのモノアミン調節機能と mTOR シグナル抑

制の両面から精神疾患へ寄与する可能性を示唆している。

## V. 今後の展開

チョコレートに多く含まれるテオブロミンはコーヒーに含まれるカフェインと同じメチルキサンチン誘導体であるが、テオブロミンは中毒性症状の少ないことが知られ<sup>11-13)</sup>、カフェインやテオフィリンと比べより安全な食品成分であるといえる。そのため、私たちの健康設計においてチョコレートやテオブロミンを含んだ食品やサプリメントを中心とした神経精神疾患への戦略が可能であると考えられる。

## VI. まとめ

近年, チョコレートは保存食品の候補であると同時に, その健康への効能に期待が寄せられている. チョコレートにはカカオポリフェノールをはるかに凌ぐ量のテオブロミンが存在する. ダークチョコレートやテオブロミンは, 脳内の脳由来神経栄養因子 (BDNF) やモノアミン神経伝達物質の増加, ドパミンとノルアドレナリンのバランスの改善に寄与し, その認知機能の向上, うつ症状の減少, そして注意欠如・多動症 (ADHD) の改善が期待される.

## VII. 謝辞

本研究の多くは科学研究費基盤研究の支援のもと行われ, 多くの研究者の参画をいただいた. 特に, 島根リハビリテーション学院学院長・紫藤治先生, 島根大学医学部准教授・松崎健太郎先生, 城西大学准教授・片倉賢紀先生, 松本大学講師・住吉愛里先生は中心メンバーであり, 深く感謝申し上げます. 最後に, 今回の執筆の機会を与えて下さいました島根リハビリテーション学院の方々に厚くお礼申し上げます.

## VIII. 文献

- 1) 武田尚子: チョコレートの世界史: 近代ヨーロッパが磨き上げた褐色の宝石. 中央公論新社, 東京, 2010, pp1-39.
- 2) Messerli FH: Chocolate Consumption, Cognitive Function, and Nobel Laureates. *New England Journal of Medicine*, 2012, 367, 1562-1564.
- 3) Ross JA, Kasum CM: Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects, and safety. *Annu Rev Nutr*, 2002, 22, 19-34.
- 4) Sumiyoshi E, Matsuzaki K, Sugimoto N, et al. : Sub-Chronic Consumption of Dark Chocolate Enhances Cognitive Function and Releases Nerve Growth Factors: A Parallel-Group Randomized Trial. *Nutrients*, 2019, 11, 2800.
- 5) 株式会社明治: チョコレートが脳を活性化するとはい? <https://www.meiji.co.jp/chocohealthlife/relation/brain/> (閲覧日 2025年1月13日)
- 6) Yoneda M, Sugimoto N, Katakura M, et al. : Theobromine up-regulates cerebral brain-derived neurotrophic factor and facilitates motor learning in mice. *J Nutr Biochem*, 2017, 39, 110-116.
- 7) Islam R, Matsuzaki K, Sumiyoshi E, et al. : Theobromine Improves Working Memory by Activating the CaMKII/CREB/BDNF Pathway in Rats. *Nutrients*. 2019, 11, 888.
- 8) Matsuzaki K, Sugimoto N, Hossain S, et al. : Theobromine improves hyperactivity, inattention, and working memory via modulation of dopaminergic neural function in the frontal cortex of spontaneously hypertensive rats. *Food Funct*, 2024, 15, 5579-5595.
- 9) Sugimoto N, Miwa S, Hitomi Y, et al. Theobromine, the primary

methylxanthine found in Theobroma cacao, prevents malignant glioblastoma proliferation by negatively regulating phosphodiesterase-4, extracellular signal-regulated kinase, Akt/mammalian target of rapamycin kinase, and nuclear factor-kappa B. Nutr Cancer, 2014, 66, 419-423.

- 10) Sugimoto N, Katakura M, Matsuzaki K, et al. : Chronic administration of theobromine inhibits mTOR signal in rats. Basic Clin Pharmacol Toxicol, 2019, 124, 575-581.
- 11) Stavric B: Methylxanthines: toxicity to humans. 1. Theophylline. Food Chem Toxicol, 1988, 26, 541-565.
- 12) Stavric B: Methylxanthines: toxicity to humans. 2. Caffeine. Food Chem Toxicol, 1988, 26, 645-662.
- 13) Stavric B: Methylxanthines: toxicity to humans. 3. Theobromine, paraxanthine and the combined effects of methylxanthines. Food Chem Toxicol, 1988, 26, 725-733.

## 令和6年度研究方法論Ⅲによる卒業論文

### I、卒業論文一覧

#### 理学療法学科

1. 池田 彩華、和久利 桃花：ダンスにおける教示に使用する動画の違いが習熟度の自己評価と他者評価に与える影響について
2. 板垣 七海、伊東 歩輝、藤原 永希：上肢トレーニングと下肢トレーニングが投球速度に及ぼす影響について
3. 渡部 乙乃：地域在住高齢者の認知・運動機能の向上を目的とする介入研究
4. 上田 晃也、藤江 溪竜：介護予防事業への学生の参加が高齢者の精神的健康の増進に寄与するか
5. 小田 椋永、川上 歩夢、宮本 幸芽：サッカーのスローインにおいて足関節可動域制限の有無がボールの飛距離、筋活動、関節運動に与える影響
6. 勝部 結花、高野 朋華、佐藤 朱夏：なんでもサークル活動がストレス対処力に与える影響
7. 高橋 隼人、川上 康太：トレーニング指導による内発的動機づけ向上への影響の検討
8. 桑本 真弥、杠 瑞穂：スポーツ選手の自己効力感に関する研究 —スポーツ種目の違いにおける自己効力感の差の検討—
9. 坂野 しおん、山先 李那：学習環境の違いにおける学習動機づけの比較 —3群における協働学習がもたらす効果の検討—
10. 塩音 諒輔、鹿野 雄介：友人とのプライベートでの関係性と学業ソーシャルサポートの関連
11. 岡本 陸都、杉谷 翔、福田 丈真、藤原 拓人、細木 翔太：行動変容理論を用いた講義による介入効果は、対象者の行動変容スケールと健康意識の改善に働きかけることができるのか
12. 川西 朋椰、村山 楓晟：BGMの変化が人間の暗記能力に与える影響

#### 作業療法学科

1. 上廻 楓華、西長 遥香：化粧行動と自尊感情の関連性の検討
2. 武田 将人、小野 佳純：色の違いが記憶力に与える影響
3. 細田 幹太、千原 琉生：サッカー日本代表森保一監督のインタビューはなぜ世間から注目を浴びるのか —テキストマイニングによる探索的検討—
4. 坪田 直弥、松村 駿杜、河角 花恋：社会的孤立および孤独感と趣味との関連性の検討

5. 山中 慶太郎、濱崎 彩音：アニメの視聴がストレス緩和に及ぼす影響
6. 飯塚 結衣子、和田 紗也乃：作業の重要度と体感時間の関連性 ―量的アプローチと質的アプローチの併用―
7. 貞末 花乃、森田 隼輔、柳谷 怜映：MBTI 診断の外向型と内向型の分類による自尊感情の傾向
8. 沖田 悠翔、小野 亜純、多々納 愛美：環境の違いが注意力と作業効率に与える影響
9. 倉田 紘靖、門脇 唯里：音楽のジャンルの違いが作業に与える影響
10. 石川 遥香、山本 幸奏：音楽の種類と睡眠の質との関連性の検討
11. 斎藤 喜愛、守橋 凜：部屋の明るさが作業効率に与える影響
12. 園山 玲央、田中 雅晴、時貞 海亜：環境の違いによるストレス反応への影響 ―一人狼ゲームを用いた分析―

## II、優秀卒業論文

### 総評

両学科とも学院での学習あるいは学院内外での実習経験から得た疑問や問題の解決について研究した論文がほとんどで、それぞれの研究テーマは十分に評価される。論文の内容については未熟な点が多々あるものの研究の実施および論文の作成に真摯に取り組んだことが見てとれる。論文のテーマの新規性、独自性や発展性、研究結果の分析と解釈の妥当性、パワーポイントを用いた研究内容のプレゼンテーションの質などを点数化しそれぞれの論文を評価した。評価には大きな差は認められなかったが「島根リハビリテーション学院優秀卒業論文表彰に関する申合せ」により優秀卒業論文として以下の4編を選考し、表彰した。

### 理学療法学科

- ・小田 椋永、川上 歩夢、宮本 幸芽：サッカーのスローインにおいて足関節可動域制限の有無がボールの飛距離、筋活動、関節運動に与える影響
- ・岡本 陸都、杉谷 翔、福田 丈真、藤原 拓人、細木 翔太：行動変容理論を用いた講義による介入効果は、対象者の行動変容スケールと健康意識の改善に働きかけることができるのか

### 作業療法学科

- ・上廻 楓華、西長 遥香：化粧行動と自尊感情の関連性の検討
- ・坪田 直弥、松村 駿杜、河角 花恋：社会的孤立および孤独感と趣味との関連性の検討

(学院長 紫藤 治)

## 「島根リハビリテーション学院紀要」投稿規定および要領

島根リハビリテーション学院紀要発行委員会

2021. 11. 1

### 1. 投稿資格

投稿者は、原則島根リハビリテーション学院教員とする。それ以外の者が希望する場合は、著者の中に必ず島根リハビリテーション学院の常勤の教員が入らなければならない。

### 2. 原稿の内容

原稿は、他の雑誌の掲載済みあるいは投稿されていないものとする。また、他への投稿を禁ずる。

### 3. 原稿の種類

- 1) 総説：特定のテーマに関し文献考察を行い、研究を総括・解説したもの
- 2) 原著論文：独創的で、新しい知見や理解が論理的に示されている研究論文で、形式が整っているもの
- 3) 研究報告：研究結果の意義が大きい論文
- 4) 実践報告：臨床及び教育に関する手技・技術や実践方法に関するもの
- 5) その他：症例・事例報告など上記に該当しないもので委員会が適当と認めたもの

### 4. 倫理的配慮

投稿論文の研究が、人間を対象とする場合は「ヘルシンキ宣言」の趣旨に沿って、動物実験の場合は所属機関の基準等を遵守して行われたものでなければならない。また、個人を対象とした研究・調査などについては、研究・調査対象者の人権やプライバシーに十分配慮しなければならない（文部科学省・厚生労働省の「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」を参照）。原著論文にあたっては、倫理委員会の承認を得たものであることとし、その旨を論文中に明記する。また、論文に関連する企業や営利団体等との利益相反（COI）のある場合は明記すること（厚生労働省の「研究に関する指針について」を参照）。

### 5. 査読

査読者の意見をもとに、定められた期日までに内容を修正し再投稿する。

### 6. 原稿の採否

- 1) 投稿論文の採否は、島根リハビリテーション学院紀要発行委員会が行う。
- 2) 査読の結果、編集方針に従って、加筆・削除および一部書き直しをお願いすることがある。また、発行委員会の責任において、多少字句の訂正をすることがある。

## 7. 投稿手続き

- 1) 「投稿承諾書」「投稿テンプレート」を記入し原本を原稿提出先担当者へ提出する。
- 2) 投稿テンプレート2部(うち、1部は査読のため著者名、所属、本文中において著者が特定されと思われる箇所を削除する)、図・表は1つの図や表ごとに1点ずつのPDFファイルとし、メール添付で下記「13. 原稿提出先」に提出する。

## 8. 執筆要領

- 1) 原稿は、ワードプロセッサを使用し、テンプレートを利用する。  
書体はMS明朝 10.5ポイントとする。句点は( . ) 読点は( , )とする。
- 2) 現行本体の字数制限(図、表、文献を含まない)は下記の通りとする。
  - (1) 総説: 12,000字以内
  - (2) 原著論文: 16,000字以内
  - (3) 研究報告: 10,000字以内
  - (4) 実践報告: 16,000字以内
  - (5) その他: 16,000字以内※図・表の大きさは、特別な場合を除いては原則としてA4版用紙に1枚ずつ収まる程度。また、本文中に割り付ける際のサイズは校正の際に調整する。概ね1/4頁大: 文字数換算で400字程度。
- 3) 投稿原稿には、表題、著者名、所属(部、科等を含む)、住所を付記し、キーワード(3個以内・英文と和文)、300字程度(目的、方法、結果、結語にわけて文中に挿入する)の和文要旨150字程度を添えること。
- 4) 原著論文は、目的、方法、結果、考察、結論、謝辞、文献の順に記載する。それぞれの見出しの言葉は変更して構わない。他の論文も目的、結果、考察、結論に準じて記載する。
- 5) 本文の見出し順位は、以下のとおりとする。
  - I. II. III.
  1. 2. 3.
  - 1) 2) 3)
  - (1) (2) (3)
- 6) 略語を用いる場合は、初出で正式用語とともに提示し、その後略語を用いることを明記する。
- 7) 単位符号は原則としてSI単位を用いる。
- 8) 図、表は1つの図や表ごとに1点ずつ記載し、図1、表1などの番号を付ける。
- 9) 図の注意事項  
人物の写真を掲載する際は、目隠しなどの配慮をすること。許可を取得している人物の写真を掲載する際は、目隠しなどの配慮をすること。また、その旨を謝辞に記載すること。
- 10) 表の注意事項  
タイトルは表の上に記載。表はMicrosoft Excel等の表制作アプリケーションで作成し、拡張子を.xlsで保存の上、投稿すること。罫線は最小限にする。上下の罫線が

基本（上下の罫線が基本、縦の罫線は原則使用しない）。

11) 文献の記載方法は次の形式による。

(1) 本文の引用箇所、引用順に1)、1,2)、1-4)などと型番号を付す。

(2) 文献は、現行末尾に一括して使用した順位記す。著者が4名以上の場合は、3名まで記載し、それ以外は、“他”または、“et al”と省略する。

(3) 記載例

① 雑誌の場合：著者名，題名，雑誌名，発行年，巻，頁。

(例) 1) 大嶽昇弘，林 典雄，山田みゆき・他：牽引装置の牽引力の再現性について。理学療法科学，1998，13：191-194。

2) Kobetic R, Triolo RJ, Marsolais E, et al.:Muscle selection and walking performance of multichannel FES systems for ambulation in paraplegia. IEEE Trans Rehabil Eng, 1997, 5:23-29.

② 単行本の場合：著者名，書名，出版社，発行地，発行年，頁。

(例) 1) 千野直一：臨床筋電図・電気診断学入門。医学書院，東京，1977，pp102-105。

2) Kapandji IA: The physiology of the joint. Churchill Livingstone, New York, 1982, pp165-180.

③ 電子文献の場合：著者名，書名，入手先 URL，閲覧日。

(例) 1) 厚生労働省：介護給付費実態調査月報（平成19年1月審査分）。<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kaigo/kyufu/2007/01.html>（閲覧日2007年3月29日）。

## 9. 著者校正

著者校正は原則として1回とし、校正に際して大幅な加筆、修正は認めない。

## 10. 費用

掲載料は無料とする。別印は著者の負担とする。

## 11. 発行

原則として年1回とする。

## 12. 著作権

1) 本誌に掲載された論文、抄録の著作権は、島根リハビリテーション学院に帰属する。本誌掲載論文を転載する場合は、出典を明示すること。

## 13. 原稿提出先

〒699-1511 島根県仁多郡奥出雲町三成1625-1

島根リハビリテーション学院紀要発行委員会

担当者：木村 ゆかり 紀要-受付窓口 <k-tsuda@shima-reha.jp >

## 査読員

橋本 道男  
島根大学医学部 環境生理学 客員教授

森田 鉄二  
もりわき整形外科クリニック 理学療法士

## 島根リハビリテーション学院紀要発行委員

吉田 俊輔 (作業療法学科 専任教員)

発行：学校法人仁多学園 島根リハビリテーション学院

学院長 紫 藤 治

島根県仁多郡奥出雲町三成 1625-1

(699-1511)

印刷：有限会社 伊藤印刷

島根県出雲市白枝町 423

BULLETIN OF SHIMANE REHABILITATION COLLEGE

PUBLISHED BY  
SHIMANE REHABILITATION COLLEGE  
OKUIZUMOCHO, NITAGUN, SHIMANE, JAPAN