

神戸国際大学 リハビリテーション研究

第 13 号

2022 年 4 月

神戸国際大学リハビリテーション学研究所

目 次

巻頭言	武内 孝祐 (1)
-----	-------------

研究論文

課題難易度がバランス課題の遂行成績およびメンタルワークロードに与える影響

秋月 千典、矢吹 惇 (3)
山本 良平、山口 和人
武内 孝祐

不活動に伴う骨格筋のミトコンドリア機能障害および毛細血管退行に対する
ヌクレオプロテインの予防効果

中西 亮介、田中 稔 (13)
田中 雅侑、藤野 英己

K 大学における夏季スポーツ活動時の体育館環境と熱中症の実態

木下めぐみ、塩野 沙季 (23)
杉田 侑磨、下津 貴広
川瀬はるな

肩井（経穴）への押圧刺激が僧帽筋上部線維の組織弾性に与える影響

—Shear Wave Elastography を用いた筋組織弾性の評価—

長渡 咲季、高野 大輔 (31)
南場 芳文、大谷 啓尊
高田 輝彦

Original article

RESISTANCE AND STRETCHING PRACTICE OF COACHES IN JAPAN

Kosuke Takeuchi (37)

編集・投稿規程	(45)
---------	--------

原稿執筆内規	(47)
--------	--------

投稿承諾書	(51)
-------	--------

リハビリテーション学研究所活動報告	(53)
-------------------	--------

CONTENTS

Preface

..... Kosuke Takeuchi (1)

Research Articles

Effects of task difficulty on the performance of a balance task and mental workload

..... Kazunori Akizuki, Jun Yabuki (3)

Ryohei Yamamoto, Kazuto Yamaguchi

Kosuke Takeuchi

Impacts of nucleoprotein supplementation on mitochondrial dysfunction and capillary regression during hindlimb unloading in rats soleus muscle

..... Ryosuke Nakanishi, Minoru Tanaka (13)

Masayuki Tanaka, Hidemi Fujino

Actual conditions about gymnasium environment and heatstroke during summer sports activities at K University

..... Megumi Kinoshita, Saki Shiono (23)

Yuma Sugita, Takahiro Shimotsu

Haruna Kawase

The Effect of Pressure Stimulation at the Acupoint GB21(Acupuncture points) on Elasticity of Trapezius Upper Fibers

- Evaluation of Skeletal Muscle Elasticity Using Shear Wave Elastography -

..... Saki Nagato, Daisuke Takano (31)

Yoshifumi Nanba, Yoshitaka Otani

Teruhiko Takata

Original article

RESISTANCE AND STRETCHING PRACTICE OF COACHES IN JAPAN

..... Kosuke Takeuchi (37)

巻頭言

この度、神戸国際大学リハビリテーション研究第13号が発刊されることになりました。本巻は5編の論文で構成されています。執筆者および編集者の方々に心より感謝いたします。

2019年末より発生した新型コロナウイルスの影響は2022年の今日でも継続し、この巻頭言を執筆する現在では第6波を迎えています。コロナ禍の当初は緊急事態宣言が発令されソーシャルディスタンスのために外出制限が徹底されました。しかし、新型コロナウイルスの特徴の理解、ワクチン接種が進んだことでコロナウイルスとの共存が進んでいるように感じます。実際にキニピアック大学の調査では、米国人の圧倒的多数（81%）が新型コロナウイルスとの共存を「ニューノーマル（新常态）」と考えていることが明らかとなっています。人類と新型コロナウイルスの共存を象徴するものとして、2021年度の夏季オリンピック（東京）と冬季オリンピック（北京）の開催があげられます。オリンピックは世界3大スポーツ大会の一つに数えられ、世界中から多くのアスリートが一堂に会します。人が移動することによるリスクから2020年の夏季オリンピックは2021年に延期となりました。しかし、ワクチン接種や感染予防の徹底により2021年にオリンピックが開催され、多くの感動が世界中に届けられました。同様に、2020年に中止となった国内の各種スポーツ大会も2021年は開催され、少しずつではありますがコロナ禍以前の活動が戻ってきています。

長崎大学の山本太郎教授は「私たちが自然の中の一員である限り、感染症は必ず存在する。目指すべきはウイルスに打ち勝つことではなくて、被害を最小化しつつ、ウイルスと早く共生関係に入っていくということではないかなと思います。」と述べています。今後は、所謂ポストコロナ時代に向けた、新型コロナウイルスの共存のための議論・研究が望まれます。

本学リハビリテーション学研究所はリハビリテーション学に関する研究・調査等を推進しながら、研究成果を「神戸国際大学リハビリテーション研究」として発刊してきました。本誌が多くの方々の目に留まり、お読みいただいた皆様の科学的思考を涵養する一助となることを願っております。

神戸国際大学

リハビリテーション学部

武内 孝 祐

研究論文

課題難易度がバランス課題の遂行成績およびメンタルワークロードに与える影響

秋 月 千 典¹⁾ 矢 吹 惇²⁾ 山 本 良 平³⁾
 山 口 和 人⁴⁾ 武 内 孝 祐¹⁾

- 1) 神戸国際大学 リハビリテーション学部 理学療法学科
 2) 茨城県立医療大学付属病院 理学療法科
 3) 九州看護福祉大学 リハビリテーション学科
 4) 日本医療科学大学 保健医療学部 リハビリテーション学科 (理学療法学専攻)

要 旨

本研究では、課題難易度がバランス課題の遂行成績およびメンタルワークロードに与える影響を明らかにすることを目的とした。若年健常者30名を低難易度群, 中難易度群, 高難易度群のいずれかに振り分け, それぞれの難易度に応じたバランス課題を与えた。バランス課題には不安定板上での立位保持を設定した。対象者は, 割り当てられた条件下で1試行20秒間のバランストレーニングを計12試行した。練習前にプレテスト, 練習終了24時間後にポストテストを実施することで運動学習の成果を確認した。さらに, メンタルワークロードの主観的指標として, NASA-TLX を測定した。バランス課題の遂行成績に対して二元配置分散分析を実施したところ, テストの主効果が認められた。しかし, 課題難易度の主効果, テストと課題難易度の交互作用は有意ではなかった。また, NASA-TLX の各下位尺度に対する一元配置分散分析の結果, 全ての下位尺度において課題難易度の主効果は認められなかった。本研究の結果から, 学習者にとって高すぎる課題難易度は学習者のメンタルワークロードを高めるとともに運動学習を阻害する可能性があることが示された。このことから, バランストレーニングでは学習者の能力に見合った課題難易度を設定することが重要であることが裏付けられた。

キーワード：運動学習, 課題難易度, メンタルワークロード

はじめに

運動学習は、「練習や経験に基づく一連の過程であり, 結果として技能的行動を行い得る能力の比較的永続的な変化をもたらすもの」と定義されている¹⁾。そのため, 理学療法の臨床場面において, 患者が理学療法士からの指導により日常生活動作を改善させる過程, あるいは動作練習により日常生活動作の効率化を図る過程は, 運動学習 (motor

learning) とみなされる。このように, 理学療法において運動学習は, その中核的な役割を担っている²⁾。理学療法において運動学習の概念が注目を集めた契機として, 1990年に米国理学療法協会が開催したIISTEP (Special Therapeutic Exercise Project) が挙げられる。IISTEPでは, 当時の中枢神経疾患に対する理学療法の背景理論として用いられていた反射階層理論が批判され, 生態学理論やシステム理論が提唱された³⁾。また, この会議では,

運動学習研究の第一人者である Richard A. Schmidt が, “Motor Learning Principles for Physical Therapy” という題目で講演を行い, 運動学習理論を理学療法の臨床へ応用する試みの基礎を築いた⁴⁾. しかし, IISTEP 会議から約30年が経過した現在においても, 運動学習理論が理学療法の臨床に十分に浸透しているとは言い難い⁵⁾. 運動学習理論と理学療法実践の間にギャップが生じている原因として, Zwicker らは臨床実践のための方法論が不足していることを指摘し⁶⁾, Levac らは運動学習に影響を与える要素が多種多様であること, 臨床実践を支援するための教育的資源が限られていることを理由に挙げている⁷⁾. このように, 運動学習理論と理学療法の臨床の橋渡しとなるような取り組みが求められている.

近年, 注目を集めている運動学習理論の1つに, Guadagnoli と Lee によって提唱された challenge point framework (CPF) がある⁸⁾. CPF では, 課題難易度が名目的課題難易度と機能的課題難易度の2つに分類されている. 名目的課題難易度は課題そのものの難易度であり, 課題の複雑さなど, 課題の性質を反映する. そのため, 学習者の技能レベルや練習条件に影響を受けない. 一方で, 機能的課題難易度は, 課題の複雑さ (名目的課題難易度), 学習者の技能レベル, 練習環境 (練習条件を含む) の相互作用によって決定される難易度を表す. したがって, 同じ課題を異なる者が遂行した際, 名目的課題難易度は同じだが, 機能的課題難易度は遂行者の技能レベルに応じて異なることになる. そして, 運動学習を最も促進する課題難易度は optimal challenge point と呼ばれている. CPF では, 機能的課題難易度が optimal challenge point を超過する場合においても, 不足する場合においても, 運動学習が遅延すると述べられている. そのため, 運動学習を促進するためには, 機能的課題難易度が optimal challenge point となるように, 名目的課題難易度や練習条件を調整する必要がある.

理学療法の臨床において, 課題難易度の設定は運動学習の成果に影響を与える主要な要因の1つであ

るにも関わらず, 理学療法士の主観や過去の経験に基づいて決定されているのが現状であり, 科学的な根拠に基づく課題難易度の設定方法の確立が求められている^{2,9)}. 特に, 対象者が安全な日常生活を再獲得するうえで, バランスと歩行が運動学習の対象になることは多い. そのような背景のなか, 我々は高齢者を対象としたバランストレーニングの運動学習効果を検証している¹⁰⁾. バランストレーニングに使用した課題は, 不安定板上での立位保持であり, その課題遂行成績が他のバランス評価指標と関連すること¹¹⁾, 転倒に対するカットオフ値を有すること¹²⁾を報告してきた. また, この課題には, 課題難易度を調整できるという特徴がある. 我々の過去の取り組み¹⁰⁾では, 単一の課題難易度を用いて運動学習効果の検証を実施したが, CPF を参考にすると, 課題難易度を操作することで運動学習効果に変化する可能性がある.

そこで本研究では, バランストレーニングの課題難易度 (名目的課題難易度) を操作することにより, 運動学習効果にどのような影響が生じるかを検証する. 加えて, 学習者の主観的なメンタルワークロード¹³⁾への影響についても調査する. メンタルワークロードは, 「注意と同様に, 環境の要求と有機体の処理能力の間のずれを調整する媒介変数である」と定義され¹⁴⁾, 注意の下位概念として位置付けることが提案されている¹⁵⁾. 名目的課題難易度を操作することで, 学習者が認識する課題難易度 (機能的課題難易度) が変化すれば, メンタルワークロードは上昇すると考えた. 以上の取り組みを通じて, CPF に基づく課題難易度調整法の確立に向けた基礎的知見とすることを本研究の目的とした.

方 法

対象者

本研究の対象者は, 下肢に整形外科的疾患を有していない健康若年者30名 (男性20名, 女性10名) とした.

対象者には, 事前に本研究の内容および結果の取

り扱いについて口頭で説明し、同意書を用いて書面にて同意を得た。なお、本研究は、その研究計画に関して神戸国際大学倫理審査委員会より承認を受けたものである（承認番号：G2019-103）。

課題と使用機器

課題には、不安定板（ディジョックボード、酒井医療社製）を使用したバランス課題を設定した。不安定板のサイズは300×500×30mmであり、不安定板の裏面には半円形のボスを取り付けることができる。本研究では、3つの半径が異なるボスを使用することで課題難易度を操作した。ボスの半径はそれぞれ140.9mm、126.8mm、112.7mmとし、高さは60mmで統一した（図1）。ボスの半径が小さくなる程、課題難易度は上昇する。不安定板には取り付け金具を使用し、3軸加速度センサーと3軸ジャイロセンサーを搭載した小型計測装置（マルチセンサー、酒井医療社製）を取り付けた。さらに、小型計測装置に専用のデータロガー（マルチセンサー拡張システム データロガー、酒井医療社製）を接続することで、測定データを即時的にPCへ出力・保存した。PCへ出力された測定データは、解析ソフト（ディジョックボード拡張システム MS ディジョック、酒井医療社製）により、バランスの指標として単位時間当たりの不安定板の傾き（Stability index）の算出に使用された：

$$\text{Stability index} = \sqrt{\frac{\sum (0-y)^2 + \sum (0-x)^2}{n}}$$

xは左右方向への傾斜角度を示し、yは前後方向への傾斜角度を示す。nはサンプル数（サンプリング周波数100Hz）を示す。対象者には不安定板上で可能な限り板を水平に保つことを求めた。また、試行中は両側上肢を体側につけ、目線は前方に設置した注視点を見るように指示した。足部の位置を統制するために、不安定板の中心から左右10cm（テープ間20cm）の位置にテープを貼り、テープの位置に対象者の足部の内側を合わせた。



図1. 本実験で使用した支持部品（ボス）
300×500×30mmの板に半球型の支持部品（ボス）を取り付けることで、不安定板とした。ボスの半径はそれぞれ140.9mm（低難易度）、126.8mm（中難易度）、112.7mm（高難易度）とし、高さは60mmで統一した。また、不安定板に小型計測装置を取り付けることで、課題遂行中の不安定板の傾斜角度を測定し、解析に用いた。

実験手続き

対象者30名を課題難易度が低い条件（低難易度群）、中程度の条件（中難易度群）、高い条件（高難易度群）のいずれかに無作為に振り分けた。高難易度条件に振り分けられた対象者は、半径112.7mmのボスが取り付けられた不安定板を練習中に使用した。中難易度群と低難易度群に振り分けられた対象者は、それぞれ半径126.8mm、半径140.9mmのボスが取り付けられた不安定板を練習中に使用した。実験スケジュールは、運動学習を評価する実験デザインであるトランスファー・デザインに基づきプレテスト、練習試行、ポストテストの3つで構成した^{1,16)}。プレテストの目的は、練習試行前の課題遂行能力を把握することであり、全ての対象者が同じ条件でテストを実施した。プレテストは1試行20秒とし、計3試行とした。その際、不安定板には低、中、高難易度の3種類のボスをランダムな順序で取り付け、全難易度で各1試行ずつ測定を行った。練習試行では、対象者は振り分けられた難易度でのみ課題を遂行した。練習量は1試行を20秒に設定し、計12試行とした。その際、3試行を1ブロックとし、計4ブロックに分割した。各試行終了後にはその試行のStability indexを対象者にフィードバック情報として与えた。ブロック間には課題遂行による疲労を考慮し、1分間の休憩を挿入した。全ての練習試

行を終えた直後に、課題遂行に伴うメンタルワークロードの指標として日本語版 National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA-TLX) を測定した^{13,17)}。NASA-TLX は精神的要求, 身体的要求, 時間的圧迫感, 作業達成度, 努力, 不満の6つの尺度から構成されており, 尺度毎に質問文と12cmの線分が設定されている。対象者には, 質問文を読ませ, 線分の該当するところに印をつけさせた。

練習試行から約24時間後にポストテストを行った。ポストテストの目的は, 練習試行で獲得した技能をどの程度保持できているかを確認することであり, その内容はプレテストと同様とした。

統計解析

本研究では, バランス課題の成績である Stability index, メンタルワークロードの指標である日本語版 NASA-TLX の下位項目毎の尺度得点を解析対象とした。

プレテストとポストテストの Stability index に対しては, 課題難易度 (低, 中, 高) と測定シーケンス (プレテスト, ポストテスト) を要因とする二元配置分散分析を実施した。主効果や有意な交互作用が認められれば, 事後検定として被験者間要因には Bonferroni 法による多重比較, 被験者内要因には対応のある t 検定を実施した。さらに, 運動学習の成果の指標として, プレテストからポストテストにかけての変化率を学習率として算出した。学習率に対しては, 一元配置分散分析を実施し, 課題難易度の主効果が認められれば事後検定として, Bonferroni 法による多重比較を行った。

練習試行における Stability index に対しては, 課題難易度 (低, 中, 高) と測定シーケンス (ブロック1-4) を要因とする二元配置分散分析を実施した。主効果や有意な交互作用が認められれば, 事後検定として Bonferroni 法による多重比較を行った。NASA-TLX は下位尺度毎に課題難易度 (低, 中, 高) を要因とする一元配置分散分析を実施した。課題難易度の主効果が認められた場合は, Bonferroni 法に

よる多重比較を行った。

なお, 統計解析には解析ソフト (Social Survey Research Information Co., BellCurve for Excel) を使用し, 有意水準は5%とした。

結果

課題難易度が練習のパフォーマンスに与える影響

課題難易度別の課題遂行成績の推移を図2に示す。練習試行時の Stability index に対して二元配置分散分析を実施したところ, 測定シーケンスの主効果 ($F = 8.31, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.24$) と課題難易度の主効果 ($F = 6.62, p = 0.005, \eta_p^2 = 0.33$) が認められた。しかし, 測定シーケンスと課題難易度の交互作用は有意ではなかった ($F = 0.71, p = 0.645, \eta_p^2 = 0.05$)。測定シーケンスの主効果が認められたため, Bonferroni 法による多重比較を実施したところ, ブロック1とブロック4 ($p = 0.005$), ブロック3とブロック4 ($p = 0.046$) に有意差が認められた。また, 低難易度条件と高難易度条件の間に有意差が認められた ($p = 0.004$)。

課題難易度が運動学習の成果に与える影響

テスト試行時の Stability index に対して二元配置分散分析を実施したところ, 測定シーケンスの主効果 ($F = 10.92, p = 0.003, \eta_p^2 = 0.29$) が認められた。しかし, 課題難易度の主効果 ($F = 1.58, p$

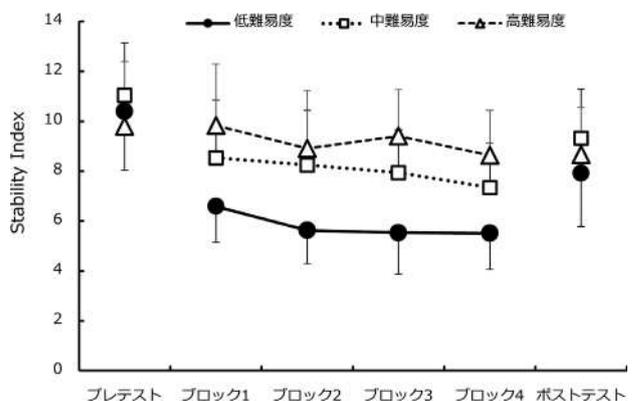


図2. 課題難易度別の課題遂行成績の推移
Stability index は課題遂行中の板の平均傾斜角度を反映するため, 数値が小さいほど成績が良好であることを示す。エラーバーは標準偏差を表す。

= 0.224, $\eta_p^2 = 0.11$), 測定シーケンスと課題難易度の交互作用は有意ではなかった ($F = 0.15$, $p = 0.859$, $\eta_p^2 = 0.01$).

さらに, 学習率を算出した結果, 低難易度の学習率は19.5%, 中難易度の学習率は13.8%, 高難易度の学習率は7.5%であった(図3). 課題難易度によって学習率が異なるかを一元配置分散分析により検討したところ, 課題難易度の主効果は認められなかった ($F = 1.05$, $p = 0.363$, $\eta_p^2 = 0.07$).

主観的課題難易度の比較

NASA-TLXの結果を図4に示す. 尺度毎に一元配置分散分析を実施したところ, 全ての尺度において有意ではなかった. 精神的負担は低難易度45点, 中難易度65点, 高難易度55点であった. 身体的負担は, 低難易度70点, 中難易度70点, 高難易度60点であった. 時間的圧迫感は低難易度40点, 中難易度55点, 高難易度35点であった. 作業達成度は低難易度35点, 中難易度40点, 高難易度45点であった. 努力は低難易度70点, 中難易度85点, 高難易度75点であった. 不満は低難易度30点, 中難易度20点, 高難易度15点であった.

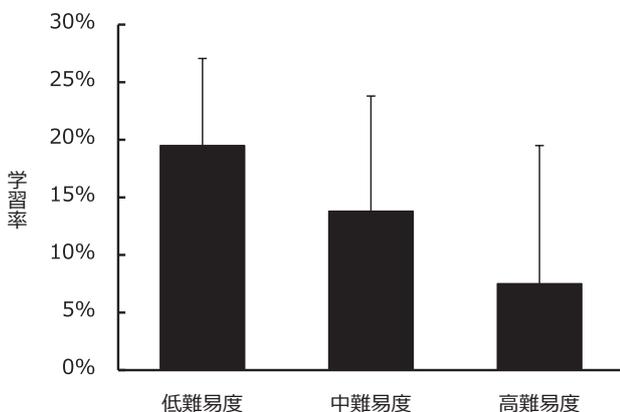


図3. 課題難易度別の学習率

学習率は, Stability index がプレテストからポストテストにかけて変化した割合 (変化率と同等) を示す. 数値が大きいほど, プレテストと比較し, ポストテストにおいてパフォーマンスが向上していたことを示し, 運動学習の程度を反映する.

エラーバーは標準偏差を表す.

考察

本研究では, バランス課題の課題難易度を操作することで課題難易度がバランス課題の遂行成績およびメンタルワークロードに与える影響を調査した. 本研究の結果, 練習中のパフォーマンスは低難易度群が有意に良好であったものの, 運動学習の成果では3群間に有意差は認められなかった. また, 課題難易度が上昇するにつれて学習率 (プレテストからポストテストにかけての変化率) は上昇する傾向が認められたが, 有意差は検出できなかった. NASA-TLXによって測定されたメンタルワークロードにおいても, 課題難易度が上昇するにつれて作業達成度が低下する傾向が認められたものの, 有意な群間差は認められなかった.

練習中のパフォーマンスでは, 低難易度群が有意に優れたパフォーマンスを示したものの, ポストテストでは有意差が認められなかった結果は, バランストレーニングにおける learning-performance distinction を表している. learning-performance distinction とは, 練習中のパフォーマンスと運動学習の成果の間に生じる乖離のことであり, 運動学習研究において古くからその存在が確認されている¹⁸⁻²⁰. このような背景から, Schmidt & Bjork は学習者が練習中に示すパフォーマンスは学習の成果を表す指標としては不完全であると述べている²¹.

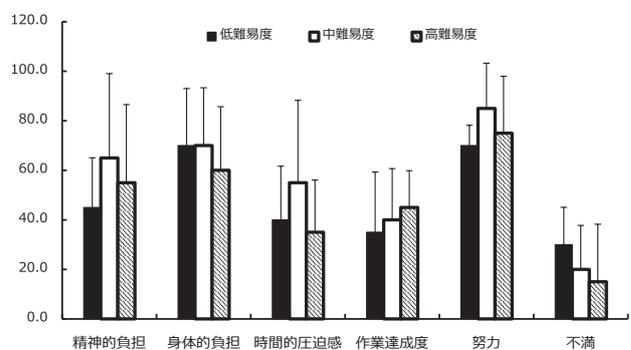


図4. NASA-TLXの測定結果

NASA-TLXは精神的要求, 身体的要求, 時間的圧迫感, 作業達成度, 努力, 不満の6つの尺度から構成されており, 尺度毎に質問文と12cmの線分が設定されている. 対象者が印を付した位置に応じて0~100の尺度得点に換算した. エラーバーは標準偏差を表す.

本研究の結果は、バランストレーニングにおける課題難易度の操作においても learning-performance distinction が生じることを示しており、バランストレーニングにおいて練習中のパフォーマンスが練習の質を保証する指標にはならないことを示している。したがって、バランス能力を高めるための効果的なバランストレーニングを確立するためには、トランスファー・デザインに基づいた効果検証が必要であることが示唆された。

次に、練習時の課題難易度と運動学習の成果の関係について CPF に基づいて述べる。CPF では、課題難易度が高すぎても低すぎても運動学習が遅延するという現象について、課題の情報量と学習者の情報処理能の関係から説明している⁸⁾。課題が複雑になればなる程、課題が有する情報量は増大するが、学習者の情報処理能には限界が存在する²²⁾。学習者の情報処理能を上回る情報が与えられてしまうと、学習者の情報処理機構は破綻してしまい、運動学習は阻害されてしまう。したがって、運動学習を効率化するためには、学習者の情報処理能に見合った情報量を有する課題を学習者に与える必要がある。本研究の結果、有意差は認められていないものの、高難易度群で最も学習率が低値を示した。これは、高難易度条件では、課題の情報量が学習者にとって過多であったために運動学習が阻害された可能性がある。一方で、低難易度条件では、課題遂行時に生じる情報量が抑えられ、学習者の情報処理能に見合った情報量であったことが推察される。以上より、バランストレーニングにおいては、高すぎる課題難易度は運動学習を遅延させる可能性があることが示された。

本研究の結果、NASA-TLX に含まれる作業達成度が課題難易度の上昇に伴って上昇する傾向が認められた。作業達成度は、学習者がどの程度課題を達成できたと感じたかという主観的な行動関連指標である¹⁷⁾。つまり、この指標は学習者が考える理想のパフォーマンスと、実際のパフォーマンスの乖離を反映していると考えられる。本研究における理想は、課題遂行中に不安定板を水平に保つことであるた

め、課題遂行中に不安定板が動揺すればするほど理想のパフォーマンスと実際のパフォーマンスの乖離は大きくなる。それ故、課題難易度に応じて作業達成度に変化したと考えられる。また、作業達成度により反映される課題難易度は、名目的課題難易度と学習者の技能レベルの関係、および練習条件が加味された難易度である。したがって、作業達成度は機能的課題難易度を反映すると考えられる。本研究では、練習条件による作業達成度への有意な効果を検出できなかったが、今後さらに対象者を増やすことによって、作業達成度を用いた機能的課題難易度の推定が可能かについて検証を進める必要がある。

最後に本研究の限界と今後の展望について述べる。本研究の結果、練習中のパフォーマンスに有意差が認められたことから、課題難易度の操作は想定した通りに作用したと考えられる。しかし、運動学習の成果を反映するポストテストにおいて、課題難易度の影響を検出することができなかった。この要因として、同一のグループ内においても個人間の技能レベルの差が影響し、個人によって課題難易度に対する異なる反応が生じたことが推察される。つまり、高難易度群に振り分けられた対象者のうち、初期技能レベルが高かった者では相対的な課題難易度（つまり、機能的課題難易度）が低下し、運動学習を促進した可能性がある。一方で、初期技能レベルが低かった者では、機能的課題難易度が高くなりやすく、運動学習が遅延した可能性がある。このように、同じグループ内においても個人の初期技能レベルの差によって機能的課題難易度にバラツキが生じてしまうため、グループ間の比較では差が検出しにくかったのではないかと考えられる。この問題を解消するためには、さらに対象者を増やし個人差の影響を抑えること、あるいは対象者の除外基準にプレテストの成績を組み込み²³⁾、同程度の初期技能レベルを有する集団に対して実験を行うことが必要となる。

また、本研究では課題難易度が最も低い群（低難易度群）において、最も高い学習効果が示された。そのため、CPF における optimal challenge point

に相当する機能的課題難易度を特定することができなかった。optimal challenge pointは、学習率と機能的課題難易度の関係における逆U字型曲線の頂点に相当するため、さらに難易度の低い条件を追加しなければ、頂点を特定することができない。したがって、今後は実験条件を追加し、さらに課題難易度が低い条件を追加することで、バランストレーニングにおける最適な課題難易度の特定を試みる必要がある。

謝 辞

本研究はJSPS 科研費 JP18K17763の助成を受けたものである。

引用文献

- 1 Schmidt RA. Motor learning: Fundamental concepts and research methods. Schmidt RA (Ed.), *Motor Control and Learning: A Behavior Emphasis (2nd Ed.)*, Champaign, Human Kinetics, 345-376, 1988.
- 2 Fuhrer MJ, Keith RA. Facilitating patient learning during medical rehabilitation: a research agenda. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 77(6): 557-561, 1998.
- 3 Lister MJ (Ed.). *Contemporary Management of Motor Control Problems: Proceedings of the II STEP Conference*. Alexandria, Foundation for Physical Therapy, 1991.
- 4 Schmidt RA. Motor Learning Principles for Physical Therapy. Lister MJ (Ed.), *Contemporary Management of Motor Problems, Proceedings of the II Step Conference*, APTA's Neurology Section and Section on pediatrics, Alexandria, Foundation for Physical Therapy, 49-63, 1991.
- 5 Kafri M, Atun-Einy O. From motor learning theory to practice: A scoping review of conceptual frameworks for applying knowledge in motor learning to physical therapist practice. *Physical Therapy* 99(12): 1628-1643, 2019
- 6 Zwicker JG, Harris SR. A reflection on motor learning theory in pediatric occupational therapy practice. *Canadian Journal of Occupational Therapy* 76(1): 29-37, 2009
- 7 Levac DE et al. Promoting therapists' use of motor learning strategies within virtual reality-based stroke rehabilitation. *PLoS One* 11(12): e0168311, 2016
- 8 Guadagnoli MA, Lee TD. Challenge point: A framework for conceptualizing the effects of various practice conditions in motor learning. *Journal of Motor Behavior* 36: 212-224, 2004.
- 9 Bjork RA. Memory and metamemory considerations in the training of human beings. Matecalfe J. & Shimamura AP (Eds.), *Metacognition: Knowing about knowing*. Cambridge, MIT Press, 185-205, 1994.
- 10 秋月千典, 山口和人, 矢吹惇, 中西亮介, 武内孝祐, 山本良平. 不安定板を用いたバランストレーニングの運動学習効果. *神戸国際大学リハビリテーション研究* 12: 3-9, 2021.
- 11 Akizuki K, Echizenya Y, Kaneno T, Yabuki J, Ohashi Y. Dynamic balance assessment using an unstable board in community-dwelling elderly people. *Journal of physical therapy science* 30(8): 1086-1091, 2018.
- 12 Akizuki K, Echizenya Y, Kaneno T, Ohashi Y. Usefulness of an unstable board balance test to accurately identify community-dwelling elderly individuals with a history of falls. *Journal of rehabilitation medicine* 51(1): 71-76, 2019.
- 13 三宅晋司, 神代雅晴. メンタルワークロードの主観的評価法: NASA-TLX と SWAT の紹介および簡便法の提案. *人間工学* 29 (6) : 399-

- 408, 1993.
- 14 Kantowitz BH. Defining and measuring pilot mental workload. Comstock JR, Jr. (Ed.), *Mental state estimation 1987*, Hampton, National Aeronautics and Space Administration, Scientific and Technical Information Division, 179-188, 1988.
- 15 Kantowitz BH. Attention and mental workload. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 44(21)*: 3-456-3-459, 2000.
- 16 Salmoni AW, Schmidt RA, Walter CB. Knowledge of results and motor learning: a review and critical reappraisal. *Psychological Bulletin 95(3)*: 355-386, 1984.
- 17 Hart SG, Staveland LE. Development of NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research. Hancock PA & Meshkati N (Eds.), *Human mental workload*, North-Holland, Elsevier, 139-183, 1988.
- 18 Tolman EC, Honzik CH. "Insight" in rats. *University of California Publications in Psychology 4*: 215-232, 1930.
- 19 Griffith CR. An experiment on learning to drive a golf ball. *The Athletic Journal 11*: 11-13, 1931.
- 20 Hull CL. *Principles of behavior*. New York, Appleton-Century-Crofts, 1943.
- 21 Schmidt RA, Bjork RA. New conceptualizations of practice: common principles in three paradigms suggest new concepts for training. *Psychological Science 3(4)*: 207-217, 1992
- 22 Miller GA. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological review 63(2)*: 81-97, 1956.
- 23 Ong NT, Hodges NJ. Balancing our perceptions of the efficacy of success-based feedback manipulations on motor learning. *Journal of Motor Behavior 50(6)*: 614-630, 2018.

< Abstract >

Effects of task difficulty on the performance of a balance task and mental workload

Kazunori Akizuki¹⁾ Jun Yabuki²⁾ Ryohei Yamamoto³⁾
Kazuto Yamaguchi⁴⁾ Kosuke Takeuchi¹⁾

- 1) Department of Physical Therapy, Kobe International University, Kobe, Hyogo, Japan
- 2) Ibaraki Prefectural University of Health Sciences Hospital, Inashiki-gun, Ibaraki, Japan
- 3) Department of Rehabilitation, Kyushu University of Nursing and Social Welfare, Tamana, Kumamoto, Japan
- 4) Department of Rehabilitation: Physical Therapy Course, Nihon Institute of Medical Science, Iruma-gun, Saitama, Japan

This study aimed to clarify the effects of task difficulty on a balance task's performance and mental workload. We randomly assigned 30 young, healthy people to a low-difficulty group, a medium-difficulty group, and a high-difficulty group. They performed a balance task according to each difficulty level. For the balance task, we set the standing position on the unstable platform. The participants performed 12 trials of balance training for 20 seconds per trial under the assigned conditions. Motor learning was confirmed by conducting a pre-test before the practice and a post-test 24 hours after the practice. In addition, NASA-TLX was measured as a subjective indicator of mental workload. A two-way ANOVA was performed on the performance of the balance task, and a significant effect of the test was observed. However, the main effect of task difficulty and the interaction between test and task difficulty was not significant. In addition, from the one-way ANOVA results for each subscale of NASA-TLX, no significant main effects of task difficulty were found on any subscales. The results showed that task difficulty that is too high for the learner might increase the learner's mental workload and hinder motor learning. These findings suggest that it is important to set the task difficulty level to commensurate with the learner's skill level in balance training.

Key Word: Motor learning, Task difficulty, Mental workload

研究論文

不活動に伴う骨格筋のミトコンドリア機能障害および毛細血管退行に対するヌクレオプロテインの予防効果

中西亮介^{1) 2)} 田中稔^{2) 3)}
 田中雅侑⁴⁾ 藤野英己²⁾

- 1) 神戸国際大学リハビリテーション学部
- 2) 神戸大学保健学研究科
- 3) 大阪保健医療大学保健医療学部
- 4) 岡山医療専門職大学健康科学部

要旨

慢性的な安静状態は酸化ストレスを誘発し、骨格筋内のミトコンドリア機能障害や毛細血管退行を引き起こす。ヌクレオチドはヌクレオプロテインに豊富に含まれ、エネルギー生成や細胞周期の促進に関与する細胞内化合物である。一方で、ヌクレオチドを豊富に含むヌクレオプロテインがミトコンドリア機能や毛細血管に与える影響は不明である。本研究ではヌクレオチドを豊富に含むヌクレオプロテイン摂取が不活動で生じる骨格筋のミトコンドリア機能障害や毛細血管退行を予防できるかを検証した。12週齢の雌性 Wistar 系ラットを通常飼育ラットに通常飼料を用いた群 (CON)、通常飼育ラットにヌクレオプロテインを豊富に含む飼料を用いた群 (CON+NP)、2週間の後肢非荷重期間中に通常飼料を用いた群 (HU)、後肢非荷重期間中にヌクレオプロテインを豊富に含む飼料を用いた群 (HU+NP) に区分した。介入期間終了後にヒラメ筋を採取して、筋湿重量を測定した。筋中央部で凍結切片を作成し、ミトコンドリア内酵素であるコハク酸脱水素酵素 (SDH) 活性や毛細血管数の測定を行った。また、抗酸化酵素である SOD-2、ミトコンドリア新生に関与する PGC-1 α の発現量を測定した。HU+NP 群の SDH 活性および毛細血管数は HU 群と比較して有意に高値を示した。また、HU+NP 群の SOD-2や PGC-1 α の発現量は HU 群と比較して有意に高値を示した。本研究の結果からヌクレオチドを豊富に含むヌクレオプロテイン摂取は不活動に伴う骨格筋のミトコンドリア機能障害や毛細血管退行を予防する可能性があることを明らかにした。

キーワード：ヌクレオプロテイン，ミトコンドリア機能障害，毛細血管退行

はじめに

慢性的な安静状態は骨格筋の萎縮を引き起こすだけでなく、ミトコンドリアの機能障害や毛細血管数の減少を引き起こす¹⁻³⁾。骨格筋内のミトコンドリアや毛細血管数は身体活動時のエネルギー生成や酸

素運搬に重要な因子であり、身体活動量や疲労耐性と密接に関連を示す⁴⁾。

不活動に伴うミトコンドリア機能障害や毛細血管退行の原因の一つに活性酸素種 (reactive oxygen species; ROS) の生成と抗酸化防御システムの不均衡により生じる酸化ストレスの過剰が関係してい

る³⁾。Superoxide dismutase-2 (SOD-2) はミトコンドリアに局在する酵素的抗酸化物質の一つとして知られており⁵⁾、酸化ストレスに応答するが⁶⁻⁷⁾、不活動では骨格筋のSOD-2タンパク質発現量は著しく低下し、酸化ストレスを上昇させる⁶⁻⁷⁾。また、ミトコンドリア内で過剰産生された酸化ストレスは標的遺伝子の発現を制御する転写コアクチベーターである peroxisome proliferators-activated receptor- γ co-activator-1 α (PGC-1 α) を介して骨格筋におけるミトコンドリア機能障害や毛細血管退行を引き起こすことが知られている³⁾。これらのことから、不活動に伴うミトコンドリア機能障害や毛細血管退行を予防するためにはSOD-2タンパク質発現量の低下を抑制し、PGC-1 α を改善することが重要であると考えられる。

抗酸化栄養補助食品は増加した酸化ストレスを低下させるだけでなく、ミトコンドリア機能障害や毛細血管退行を予防することが報告されている³⁾。ヌクレオプロテインはヌクレオチドとプロタミンを混合した栄養補助食品の一種であり、筋肥大、筋衛星細胞の活性化、ミトコンドリア機能障害の予防、および毛細血管退行を予防することが報告されている^{2,8-10)}。一方、これらの効果がヌクレオチドに依存するのかプロタミンに依存するかは明らかではない。ヌクレオチドはエネルギー生成や細胞周期に影響を与える細胞内化合物で、筋萎縮予防効果や抗酸化作用も認められている¹¹⁻¹²⁾。そこで、本研究ではヌクレオチドに着目し、ヌクレオチドを豊富に含むヌクレオプロテイン食の摂取が不活動に伴うSOD-2タンパク質発現を介してPGC-1 α タンパク質発現の低下を抑制し、ミトコンドリア機能障害や毛細血管退行を予防できるかを検証した。

対象と方法

1) 倫理的配慮

全ての実験は神戸大学における動物実験に関する指針に従い、動物実験委員会の承認を得たうえで実施した (承認番号: P130903-R2)。

2) 実験動物および食餌

本研究では12週齢の雌性 Wistar 系ラット20匹を用いた。これらが無作為に、通常飼育ラットに通常飼料を用いた群 (CON, $n = 5$)、通常飼育ラットにヌクレオプロテインを豊富に含む飼料を用いた群 (CON+NP, $n = 5$)、2週間の後肢非荷重期間中に通常飼料を用いた群 (HU, $n = 5$)、後肢非荷重期間中にヌクレオプロテインを豊富に含む飼料を用いた群 (HU+NP, $n = 5$) に区分した (図1)。通常飼料はA10021 (Research Diets) を用いた。また、ヌクレオプロテイン (日産化学工業) (表1) を豊富に含む飼料はA10021からアミノ酸成分を取り除

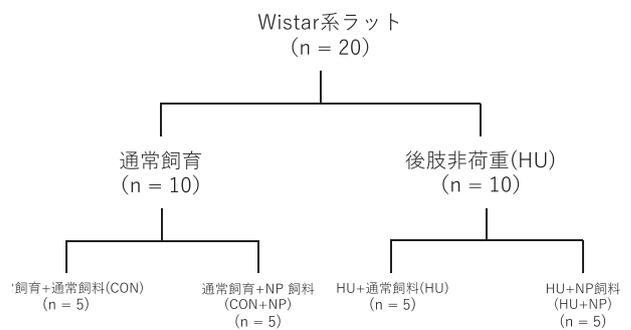


図1. 群分け

表1: ヌクレオプロテインの構成要素

	ヌクレオプロテイン (g/kg)
アミノ酸	560.0
アルギニン	167.0
リジン	41.0
ヒスチジン	10.0
フェニルアラニン	15.0
チロシン	14.0
ロイシン	31.0
イソロイシン	17.0
メチオニン	9.0
バリン	27.0
アラニン	27.0
グリシン	40.0
プロリン	28.0
グルタミン	46.0
セリン	28.0
スレオニン	19.0
アスパラギン	33.0
トリプトファン	4.0
システイン	4.0
ヌクレオチド	341.0
5'-dCMP	63.0
5'-dAMP	95.0
5'-dTMP	99.0
5'-dGMP	83.0

表2. 通常飼料とヌクレオプロテイン含有飼料

	通常飼料 (gram%)	ヌクレオプロテイン含有飼料 (gram%)
A10021飼料	100	—
A10021飼料アミノ酸非含有飼料	—	76.7
ヌクレオプロテイン	—	14.8
アミノ酸	—	8.5

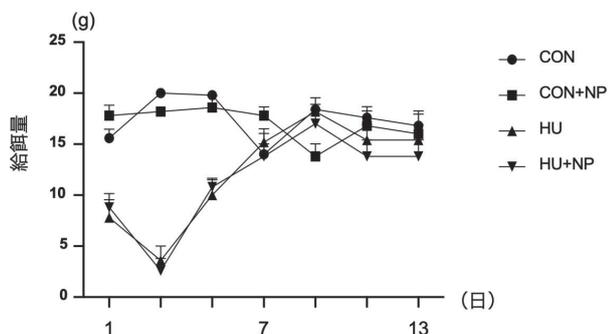


図2. 給餌量の経時的変化

いたアミノ酸非含有飼料にヌクレオプロテインとアミノ酸を混合し作成した(表2)。本実験で用いたそれぞれの飼料のタンパク質組成は17%で統一した。ラットには飼料と水を自由に与え、給餌量は毎日測定し、飼料の違いによる摂取量に差がないことを確認した(図2)。ラットは室温 $22 \pm 2^\circ\text{C}$ 、12時間の明暗周期の環境下にて飼育した。

3) 筋萎縮モデルの作製法

1週間の馴化期間後にHU群、HU+NP群はMorey法¹³⁾により両後肢を14日間非荷重にして、廃用性筋萎縮を惹起させた。また、前肢は床面に接地することができる高さとし、飼育ケージ内を自由に移動することを可能とした。

4) 組織化学的分析

実験期間終了後に4%イソフルランを用いて深麻酔下でヒラメ筋を摘出し、筋湿重量を測定した。摘出したヒラメ筋は、ドライアイスで冷却した -80°C のイソペンタンを用いて急速凍結し、分析までディープフリーザ(-80°C)で保存した。凍結した筋試料は -25°C のクリオスタット(CM-1510S, Leica Microsystems)を用いて、筋中央部における厚さ $12\mu\text{m}$ の凍結切片を作成し、スライドグラス

に貼付した。凍結切片はSDH活性を測定するためにコハク酸脱水素酵素(succinate dehydrogenase; SDH)染色を施した³⁾。さらに毛細血管を観察するためアルカリフォスファターゼ(alkaline phosphatase; AP)染色を実施した。SDH染色は0.05% nitro blue tetrazolium, 0.05 M Sodium succinate, および0.05 M Phosphate Buffer Solution (pH 7.4)を混合した反応液で45分間、 37°C で反応させた³⁾。AP染色は0.02% 5 bromo-4-chloro-3-indoxyl phosphate toluidine salt, 0.1% nitro blue tetrazolium, および0.2 M borate buffer (pH 9.4)を含む反応液で45分間、 37°C で反応させた³⁾。SDH染色およびAP染色を実施した標本は光学顕微鏡(BX-51, Olympus社製)で観察し、1標本当たり3箇所顕微鏡視野を任意に選択し、顕微鏡用デジタルカメラ(VB-7000, Keyence)で撮影した。SDH染色像から各筋線維の可視密度に面積を乗じたIntegrated SDH(Int SDH)を算出し¹⁴⁾、AP染色像から筋線維あたりの毛細血管比率(capillary-to-fiber ratio, C/F比)を算出した。組織化学的分析は1標本当たり少なくとも60線維の解析を行い、平均化した値を用いた。

5) SOD-2タンパク質発現量, PGC-1 α タンパク質発現量

凍結した筋試料の筋腹部分を約20 mg切り出し、20倍量の抽出溶液(Ez RIPA Lysis kit, WSE-7420, ATTO)を加えて、超音波ホモナイザー(UR-20P, Tomy)で均質化し、遠心分離(15,000g, 4°C , 10分)して上清を回収した。得られた上清に対し、Bradford法により総タンパク質量を測定し、SDSサンプルバッファー(50 mM Tris-HCl, pH 6.8,

2% sodium dodecyl sulfate, 10% glycerol, 5% mercaptoethanol, and 0.005% bromophenol blue) を用いて濃度を統一した。その後、全てのサンプルは80℃で10分間熱処理を行い、10%のポリアクリルアミドゲルを用いて、電気泳動(40 mA, 90分)にて分離した。電気泳動終了後、タンパク質を高速転写装置(トランスプロット Turbo™, ATTO)を用いてPVDF膜に転写し、転写したPVDF膜を5%スキムミルクに1時間振盪させた後、SOD-2抗体(1:1000, #13141; Cell Signaling Technology)およびPGC-1 α (1:3000, #66369-1-Ig; Protein tech)に4℃で一晩反応させた。緩衝溶液(PBST)で洗浄後、HRP標識二次抗体(GE Healthcare)と一時間反応させた。二次抗体反応終了後、化学発光法(Ez West Lumi One, ATTO)でシグナル検出し、光化学発光検出装置(Lumino Graph I, ATTO)で撮影した。撮影した各タンパク質のバンドをImage Jで測定(OD)し、SOD-2とPGC-1 α のタンパク質発現量は内在性コントロールとして用いたPonceau-S(Beacle)で正規化を行い、算出した。タンパク質発現量は1標本当たり2度の解析を行い、平均化した値を用いた。

6) 統計処理

全ての測定値は平均値 \pm 標準誤差で表示した。すべての統計分析GraphPad PRISM ver.7.0(Graphpad Software)を用いて行った。各群間の比較には二元配置分散分析を適用し、有意差を判定した。二元配置分散分析で交互作用が認められた場合は事後検定としてBonferroniの多重比較検定を用い、すべての統計の有意水準は5%未満で有意差

を判断した。

結果

1) 体重, 筋湿重量, 相対重量比 (表3)

HU群, HU+NP群の体重は, CON群, CON+NP群と比較して有意に低値を示したが, HU群とHU+NP群に統計的有意差は認められなかった。筋湿重量および相対重量比はHU群, HU+NP群がCON群, CON+NP群と比較して有意に低値を示したが, HU+NP群はHU群に対して有意に高値を示した。

2) SDH 活性 (Int SDH) および C/F 比 (図3, 4)

HU群, HU+NP群のInt SDH活性は, CON群, CON+NP群と比較して有意に低値を示したが, HU+NP群はHU群に対して有意に高値を示した。さらに, HU群, HU+NP群のC/F比は, CON群, CON+NP群と比較して有意に低値を示したが, HU+NP群はHU群に対して有意に高値を示した。

3) SOD-2 タンパク質発現量, および PGC-1 α タンパク質発現量 (図5)

SOD-2タンパク質発現量はHU群がCON群と比較して有意に低値を示した。一方, HU+NP群はHU群と比較して有意に高値を示した。さらにSOD-2タンパク質発現量はHU群がCON群と比較して有意に低値を示し, HU+NP群はHU群と比較して有意に高値を示した。

表3. 体重, ヒラメ筋の筋湿重量および相対重量比

	CON		HU	
	Basal diets	NP-enriched diet	Basal diets	NP-enriched diet
体重 (g)	196.2 \pm 4.0	195.2 \pm 1.8	164.6 \pm 2.8*	166.0 \pm 2.0*
筋質重量 (mg)	79.2 \pm 1.9	78.6 \pm 1.7	44.3 \pm 1.6*	50.3 \pm 0.9*#
相対重量比 (mg/g)	0.40 \pm 0.02	0.40 \pm 0.01	0.27 \pm 0.01*	0.30 \pm 0.01*#

値は平均 \pm 標準誤差。*は同じ食餌を与えられた対照動物との比較との有意差 (P < 0.05)。

#は介入間において通常飼料を与えられた動物との有意差 (P < 0.05)。

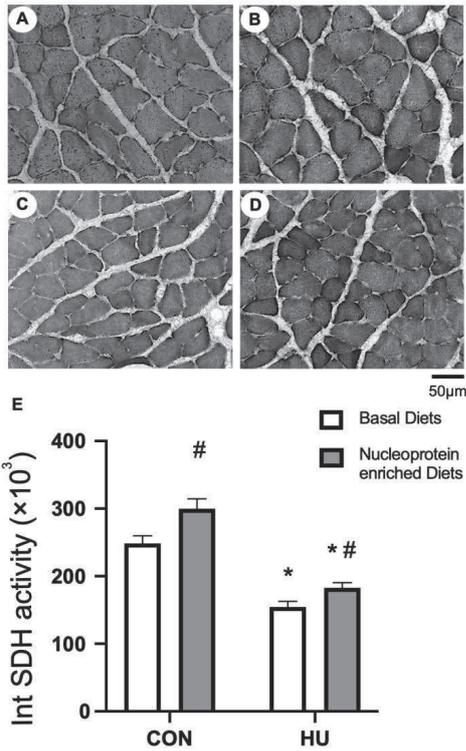


図3. ヒラメ筋のSDH染色画像およびInt SDH活性値は平均±標準誤差. CON群 (A) (n = 5), CON+NP群 (B) (n = 5), HU群 (C) (n = 5), HU+NP (D) (n = 5) のSDH染色像, およびIntegrated SDH活性 (E). * は同じ食餌を与えられた対照動物との比較との有意差 ($P < 0.05$). # は介入間において通常飼料を与えられた動物との有意差 ($P < 0.05$). スケールバー: 50 μ m.

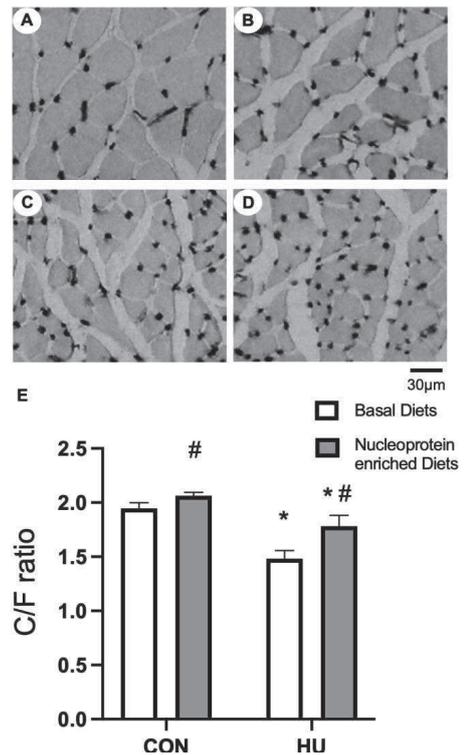


図4. ヒラメ筋のAP染色画像およびC/F比値は平均±標準誤差. CON群 (A) (n = 5), CON+NP群 (B) (n = 5), HU群 (C) (n = 5), HU+NP (D) (n = 5) のAP染色像, およびC/F比 (E). * は同じ食餌を与えられた対照動物との比較との有意差 ($P < 0.05$). # は介入間において通常飼料を与えられた動物との有意差 ($P < 0.05$). スケールバー: 30 μ m.

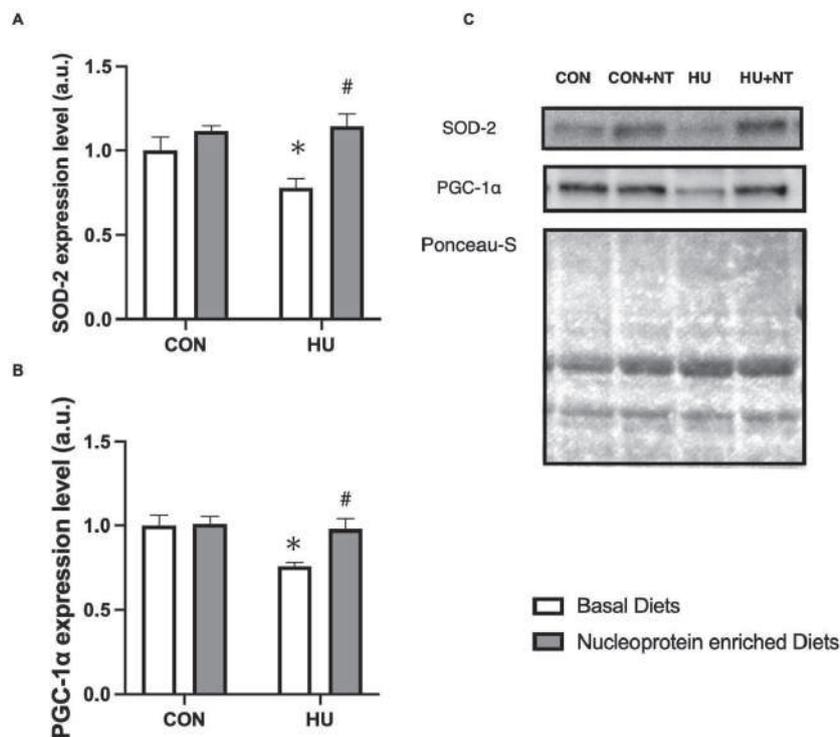


図5. SOD-2タンパク質発現量およびPGC-1 α タンパク質発現量は平均±標準誤差. SOD-2タンパク質発現量 (A), PGC-1 α タンパク質発現量 (B), および各々の代表的バンド像 (C). * は同じ食餌を与えられた対照動物との比較との有意差 ($P < 0.05$). # は介入間において通常飼料を与えられた動物との有意差 ($P < 0.05$).

考 察

本研究ではヌクレオプロテインに含まれるヌクレオチドが不活動に伴うミトコンドリア機能障害および毛細血管退行を予防する可能性があることを明らかにした。

14日間の後肢非荷重により SOD-2タンパク質発現量を低下させるだけでなく PGC-1 α タンパク質発現量を低下させた。さらに SDH 活性の低下および C/F 比の低下を誘発した。SOD-2はミトコンドリア内に局在し、スーパーオキシドアニオンが過酸化水素に変換される反応を触媒する重要な抗酸化酵素である⁵⁾。Theilen ら^{6,7)} は後肢非荷重においてヒラメ筋の SOD-2タンパク質発現量を低下させるとともに、筋細胞内ミトコンドリアにおける ROS 産生量が増加することを報告している⁶⁻⁷⁾。これらの報告から本研究においても 2 週間の後肢非荷重が SOD-2 タンパク質発現量を低下させ、ミトコンドリア内で過剰に産生された ROS を除去できず、酸化ストレスの過剰を惹起したと推察される。

PGC-1 α は物理的刺激や酸化ストレスなどに反応するミトコンドリア生合成における主要調節タンパク質として知られており、先行研究において不活動に由来する酸化ストレスが上昇した状態では PGC-1 α のタンパク質発現量を低下させ、ミトコンドリア内の SDH 活性を低下させることが報告されている^{2-3,15)}。また、先行研究では後肢非荷重は骨格筋内の酸素需要の低下を惹起するとともに毛細血管数を低下せると報告している¹⁾。毛細血管数と骨格筋内の酸素需要は相互に依存しているため¹⁶⁾、後肢非荷重では SDH 活性の低下に伴い酸素需要が低下し、毛細血管数を低下させたと考えられる。これらの報告から本研究においても後肢非荷重に伴う酸化ストレスの上昇がミトコンドリア機能障害を介して毛細血管退行を誘発したと考えられる。

一方、後肢非荷重期間にヌクレオチドを摂取により、SOD-2、PGC-1 α タンパク質発現量、SDH 活性を向上させることができた。ヌクレオチドは抗酸化栄養補助食品の一種として知られており、Xu ら¹⁷⁾

の先行研究では食事量の 0.64% に相当するヌクレオチドを摂取することで SOD 活性を増加させると報告している¹⁷⁾。本研究においてもヌクレオチド摂取が SOD-2タンパク質発現量を増加させ抗酸化作用の低下を抑制し、酸化ストレスの上昇を減弱させたと推察される。さらに、細胞外ヌクレオチドはプリン受容体 (P2受容体) を介して身体に生理学的応答を引き起こすことが知られており¹⁸⁾、Wu ら¹⁹⁾ は P2受容体を刺激することでアストロサイトのミトコンドリア代謝を向上し、エネルギー生成を増加させることを報告している¹⁹⁾。また、P2受容体の一種である P2Y 受容体は骨格筋に強く発現し、細胞内 Ca²⁺ 濃度に変化を与え、PGC-1 α タンパク質発現に強く影響を与えることが報告されている^{18,20)}。したがって、本研究においても後肢非荷重期間にヌクレオチド摂取を行うことで、SOD-2 タンパク質発現量の低下の抑制を介し、酸化ストレスの上昇を抑制するだけでなく、PGC-1 α タンパク質発現量の低下を抑制し、筋線維内における SDH 活性の低下を抑制したと推察される。

さらに、後肢非荷重期間にヌクレオチドを摂取することで C/F 比の低下を抑制した。毛細血管は酸素需要に応じた変化を示すため²¹⁾、ヌクレオチドを摂取によりミトコンドリアにおける代謝活性を増加させたことで酸素需要が増加し、C/F 比の増加を招いた可能性がある。また、PGC-1 α は毛細血管の新生にも関与していることが報告されている²²⁾。Leick ら²²⁾ は PGC-1 α 遺伝子を筋特異的にノックアウトさせることで毛細血管新生に関与するタンパク質発現量が減少し、C/F 比減少させることを報告している。これらの結果から、本研究においても PGC-1 α タンパク質発現量の低下を抑制することで C/F 比の低下を抑制したと推察される。

研究の限界

本研究ではミトコンドリア生合成や毛細血管新生において重要である PGC-1 α タンパク質発現に影響を与える筋細胞内の酸化ストレス、P2受容体の発

現量および筋細胞内の Ca²⁺ 濃度の解析が行えていない。今後、これらの要因を明らかにすることで、詳細なメカニズムやシグナル伝達経路が明らかになると考えられる。さらに本研究で用いた通常飼料とヌクレオプロテインを豊富に含む飼料でアミノ酸の構成成分が異なる。アミノ酸成分の統一した飼料を用いることでより詳細なメカニズムが明らかになると考えられる。

結 論

本研究の結果から、後肢非荷重期間にヌクレオチドを摂取することでミトコンドリア機能障害および毛細血管退行の予防に有効である可能性があることが明確になった。

引用文献

- 1 Kanazashi M, Okumura Y, Al-Nassan S, et al.: Protective effects of astaxanthin on capillary regression in atrophied soleus muscle of rats. *Acta physiologica (Oxford, England)*, 207 (2): 405-15, 2013.
- 2 Hirayama Y, Nakanishi R, Maeshige N, et al.: Preventive effects of nucleoprotein supplementation combined with intermittent loading on capillary regression induced by hindlimb unloading in rat soleus muscle. *Physiological reports*, 5 (4): 1 - 8, 2017.
- 3 Kanazashi M, Tanaka M, Nakanishi R, et al.: Effects of astaxanthin supplementation and electrical stimulation on muscle atrophy and decreased oxidative capacity in soleus muscle during hindlimb unloading in rats. *The journal of physiological sciences : JPS*, 69 (5): 757-767, 2019.
- 4 Tadaishi M, Miura S, Kai Y, et al.: Skeletal muscle-specific expression of PGC-1 α -b, an exercise-responsive isoform, increases exercise capacity and peak oxygen uptake. *PloS one*, 6 (12): e28290, 2011.
- 5 Zelko IN, Mariani TJ, Folz RJ: Superoxide dismutase multigene family: a comparison of the CuZn-SOD (SOD1), Mn-SOD (SOD2), and EC-SOD (SOD3) gene structures, evolution, and expression. *Free Radical Biology and Medicine*, 33 (3): 337-349, 2002.
- 6 Theilen NT, Jeremic N, Weber GJ, et al.: Exercise preconditioning diminishes skeletal muscle atrophy after hindlimb suspension in mice. *Journal of Applied Physiology*, 125 (4): 999-1010, 2018.
- 7 Theilen NT, Jeremic N, Weber GJ, et al.: TFAM overexpression diminishes skeletal muscle atrophy after hindlimb suspension in mice. *Archives of biochemistry and biophysics*, 666 138-147, 2019.
- 8 Kanazawa Y, Maekawa K, Okumura Y, et al.: Preventive effect of nucleoprotein on hindlimb unloading-induced capillary regression in rat soleus muscle. *Biotechnic & histochemistry : official publication of the Biological Stain Commission*, 89 (3): 220-7, 2014.
- 9 Nakanishi R, Hirayama Y, Tanaka M, et al.: Nucleoprotein supplementation enhances the recovery of rat soleus mass with reloading after hindlimb unloading-induced atrophy via myonuclei accretion and increased protein synthesis. *Nutrition research (New York, N.Y.)*, 36 (12): 1335-1344, 2016.
- 10 Nakanishi R, Tanaka M, Maeshige N, et al.: Nucleoprotein-enriched diet enhances protein synthesis pathway and satellite cell activation via ERK1/2 phosphorylation in unloaded rat muscles. *Experimental physiology*, 106 (7): 1587-1596, 2021.
- 11 Carver JD: Dietary nucleotides: cellular immune, intestinal and hepatic system effects.

- The Journal of nutrition, 124 (1 Suppl): 144s-148s, 1994.
- 12 Carver JD, Walker WA: The role of nucleotides in human nutrition. The Journal of nutritional biochemistry, 6 (2): 58-72, 1995.
 - 13 Morey ER, Sabelman EE, Turner RT, et al.: A new rat model simulating some aspects of space flight. The Physiologist, 22 (6): S23-4, 1979.
 - 14 Hirabayashi T, Nakanishi R, Tanaka M, et al.: Reduced metabolic capacity in fast and slow skeletal muscle via oxidative stress and the energy-sensing of AMPK/SIRT1 in malnutrition. Physiological reports, 9 (5): e14763, 2021.
 - 15 Russell AP, Foletta VC, Snow RJ, et al.: Skeletal muscle mitochondria: a major player in exercise, health and disease. Biochimica et biophysica acta (BBA)-general subjects, 1840 (4): 1276-1284, 2014.
 - 16 Zarembek KA, Malech HL: HIF-1 α : a master regulator of innate host defenses? The Journal of clinical investigation, 115 (7): 1702-1704, 2005.
 - 17 Xu M, Liang R, Guo Q, et al.: Dietary nucleotides extend the life span in Sprague-Dawley rats. The journal of nutrition, health & aging, 17 (3): 223-9, 2013.
 - 18 Cheung KK, Ryten M, Burnstock G: Abundant and dynamic expression of G protein-coupled P2Y receptors in mammalian development. Developmental dynamics : an official publication of the American Association of Anatomists, 228 (2): 254-66, 2003.
 - 19 Wu J, Holstein JD, Upadhyay G, et al.: Purinergic receptor-stimulated IP3-mediated Ca²⁺ release enhances neuroprotection by increasing astrocyte mitochondrial metabolism during aging. Journal of Neuroscience, 27 (24): 6510-6520, 2007.
 - 20 Roberts-Wilson TK, Reddy RN, Bailey JL, et al.: Calcineurin signaling and PGC-1 α expression are suppressed during muscle atrophy due to diabetes. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research, 1803 (8): 960-967, 2010.
 - 21 Mason S, Johnson RS: The role of hif-1 α in hypoxic response in the skeletal muscle. Hypoxia and the circulation, 229-244, 2007.
 - 22 Leick L, Hellsten Y, Fentz J, et al.: PGC-1 α mediates exercise-induced skeletal muscle VEGF expression in mice. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 297(1): E92-E103 2009.

< Abstract >

Impacts of nucleoprotein supplementation on mitochondrial dysfunction and capillary regression during hindlimb unloading in rats soleus muscle

Ryosuke Nakanishi¹⁾ Minoru Tanaka²⁾³⁾
Masayuki Tanaka⁴⁾ Hidemi Fujino²⁾

- 1) Department of physical therapy, Kobe International University
- 2) Graduate School of Health Sciences, Kobe University
- 3) Department of physical therapy, Osaka Health Science University
- 4) Department of physical therapy, Okayama healthcare professional university

Hindlimb unloading results in a decrease in both the mitochondrial SDH activities and the number of capillaries in skeletal muscle. Nucleotides included in nucleoproteins are well known as intracellular compounds that play essential roles in many biological processes such as energy metabolism and the cell cycle. Therefore, we hypothesized that nucleoprotein would ameliorate the level of SDH activities and the number of capillaries during hindlimb unloading in skeletal muscle. Twenty female Wistar rats were divided into four groups: control rats fed a basal diet (CON), control rats fed a nucleoprotein-enriched diet (CON+NP), hindlimb-unloaded rats fed a basal diet (HU) or hindlimb-unloaded rats fed a nucleoprotein-enriched diet (HU+NP). Unloading for 2 weeks resulted in reductions in the expression levels of SOD-2 and PGC-1 α protein, the integrated SDH activity, and the numbers of capillaries. These values in the HU+NP group were higher than those in HU group. The results in the present study indicate that the nucleoprotein-enriched diet could ameliorate the unloading-associated decrease in the level of SDH activities and the number of capillaries, most probably owing to the activation of antioxidant capacity via SOD-2 protein expression and/or mitochondrial biogenesis via PGC-1 α protein expression. Therefore, the ingesting of nucleoprotein appears to be an effective countermeasure for mitochondria dysfunction and capillary regression.

Key Word: nucleoprotein supplementation; mitochondria dysfunction; capillary regression

研究論文

K 大学における夏季スポーツ活動時の 体育館環境と熱中症の実態

木下 めぐみ¹⁾ 塩野 沙季²⁾ 杉田 侑磨³⁾
下津 貴広⁴⁾ 川瀬 はるな⁵⁾

- 1) 神戸国際大学リハビリテーション学部
- 2) 宮地病院リハビリテーション科
- 3) 恒生病院リハビリテーション科
- 4) 吉田病院リハビリテーション部
- 5) りんくう総合医療センターリハビリテーション科

要 旨

夏季における K 大学の体育館（K 体育館）の環境を知る目的で、気温、湿度、WBGT を 9 時、12 時、15 時に測定した。また同日、同時刻の屋外データを神戸市気象台測定のものから抜粋し、K 体育館との比較を行った。さらにクラブ部員の熱中症の実態や運動中の暑さ認識を知る目的で、K 体育館を使用した体育館群とグラウンドを使用した屋外群にアンケートを行い、両群の違いを検討した。結果、K 体育館の気温は、いずれの時間帯も平均 31℃ を超えており、有意に高温であった。さらに、測定日の 47.4% が WBGT 28.0℃ 以上に相当した。体育館群の方が屋外群に比べて、運動時のパフォーマンス低下を感じる頻度や熱中症経験者が有意に多かった。2 階に設置された K 体育館は太陽光で蓄熱しやすい構造にあり、このことが影響していると思われる。また体育館群の方が熱中症への対策が不十分な可能性も示唆された。屋内の夏季スポーツ活動時は、建物の特徴も配慮した熱中症対策が必要である。

キーワード：熱中症，体育館，WBGT

はじめに

地球温暖化や都市部のヒートアイランド現象等により、熱中症発症の危険性は年々増大している。熱中症対策のひとつとして、1982 年に国際基準（ISO7243）に位置づけられた暑さ指数である湿球黒球温度（wet-bulb globe temperature：WBGT）が広く用いられている¹⁾。この WBGT は、人体の熱バランスに影響を及ぼす気温、湿度、輻射熱（周辺の熱環境）を反映したもので、「気温の効果：湿

度の効果：輻射熱の効果 = 1 : 7 : 2」の影響割合をもとに算出された温度を示す¹⁾。一般に、WBGT が 25℃ を越えると熱中症が増え始め、28℃ を越えると急激な増加を示すことが知られており^{2,3)}、JIS 規格に適合した WBGT 測定器を設置することで、これらを簡便に知ることができる。夏季のスポーツ活動時には、多くの大学が日本スポーツ協会による「熱中症予防運動指針」の定義⁴⁾に従って、WBGT が 21℃ 未満の運動は「ほぼ安全」、21℃～25℃ 未満は「注意（積極的な水分補給）」、25℃～28℃ 未満は

「警戒（積極的な休憩と水分補給）」、28℃～31℃未満は「嚴重注意（激しい運動は中止）」、31℃以上は「運動は原則中止」と、熱中症予防の判断に活用している。

本研究のきっかけは、気温が高くなる初夏から残暑厳しい初秋の時期にかけて、K大学の体育館（以下、K体育館）でスポーツ活動を行っている大学生クラブ部員や監督から、運動中の体育館の暑さを苦とする意見が多く挙がったことである。このような現状を受け、夏季における体育館環境や、日々練習に励んでいる選手の熱中症の実態、およびその対策について知る必要性があったが、詳細は定かではなかった。そこで本研究では、熱中症予防の第1段階として、夏季におけるK体育館の環境実態を知ることが目的に、体育館の気温や湿度、WBGTを調査した。また、K体育館でスポーツ活動を行っているクラブ部員の熱中症の実態や、運動中の暑さ認識の実態を知ることが目的に、同大学の屋外でスポーツ活動を行っているクラブ部員との相違点および類似点を明らかにすることとした。

対象と方法

1. 対象

K大学体育会系クラブ団体のうち、体育館クラブは、バレーボール部、ハンドボール部、フットサル部、バスケットボール部を対象とした。屋外クラブは、硬式野球部、サッカー部を対象とした。いずれも部員は男子大学生で、バレーボール部、ハンドボール部、硬式野球部、サッカー部は強化指定クラブとして本格的に活動している団体である。体育館クラブの登録部員94名、屋外クラブの登録部員99名で、計193名が調査の対象であった。そのうち、同意を得て回答の得られた体育館クラブ部員62名（バレーボール部15名、ハンドボール部28名、フットサル部15名、バスケットボール部4名：有効回答率66.0%）を体育館群、屋外クラブ部員49名（野球部29名、サッカー部20名：有効回答率49.5%）を屋外群とした。

本研究は、神戸国際大学リハビリテーション学部理学療法学科倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号：G2019-104号）。

2. 体育館環境の測定方法

2019年8月6日～9月11日までの間で測定が可能であった19日間、K体育館の気温と湿度、WBGTを体育館南側に設置してある測定器（温湿度SDデータロガー AD-5696；エー・アンド・デイ社製、東京）を用いて、9時、12時、15時に測定を行った。また、K体育館が所在する神戸市の同日および同時刻の外気温と湿度、WBGTを比較するため、環境庁の発表による神戸市気象台（神戸市中央区）の屋外測定データ⁵⁾も参考にした。各項目において19日間の平均値を求めた。なお、K体育館は2階に設置されており、床面積は1485m²（縦幅33m、横幅45m）で長辺が南北に設計されている。測定は、直射日光の影響を受けず風通しの良い入口から5mの南側の地点にて実施した。

3. アンケート調査の方法

体育館群および屋外群に対して、質問紙法にて熱中症に関するアンケート調査を2019年7月～8月に実施した。調査内容は（1）暑さの影響で身体パフォーマンスが低下すると感じる頻度、（2）練習中に暑さの影響で身の危険を感じる頻度、（3）練習中の熱中症経験の有無、（4）練習中の熱中症対策の内容（複数回答可）、（5）現在実施している熱中症対策で身体パフォーマンスが保たれているかどうか、（6）更なる熱中症対策の必要性の有無の6項目とした。なお、（5）の質問は、（4）で「何らかの熱中症対策あり」と答えた者のみを回答の対象とした。

4. 統計学的分析

同時刻におけるK体育館と神戸市の気温と湿度およびWBGTの比較にはMann-Whitney U testを用いた。また、体育館群と屋外群における熱中症の実態や、運動中の暑さに対する認識の違いを比較す

るためにカイ二乗検定を行った。いずれも有意水準は5%とした。

結 果

表1にK体育館の気温、湿度、WBGTを示す。気温は、9時で31.6±1.5℃、12時と15時で31.7±1.7℃と、いずれの時刻も神戸市の外気温と比較して有意に高温であることが示された(9時:p<0.01, 12時および15時:p<0.05)。一方、湿度は、K体育館ではいずれも60%前後で一定に保たれていた。神戸市の屋外湿度は約70~80%を示し、9時のみ体育館群で有意に低値を示した(p<0.05)。各時刻のWBGTは、K体育館では26.8~27.2℃の範囲(最低24.5℃-最高29.0℃)で、12時、15時には神戸市の屋外WBGTの方が有意に高かった(p<0.01, p<0.05)。K体育館におけるWBGTの詳細をみてみると、28℃以上(嚴重警戒以上)になった日は19日間で9日あり、測定期間の47.4%を占めた。なお、測定した19日間の天気は、晴れが10日、曇りが6日、雨が3日であった。

表2にアンケート調査の結果を示す。(1)「暑さの影響で身体パフォーマンスが低下する頻度」に関して、「かなりの頻度ある」と訴えた者は、体育館群で67.7%、屋外群で26.5%となり、有意に体育館群のほうが多かった(χ²=18.6, p<0.001)。

(2)「暑さの影響で身の危険を感じる頻度」に関して、「かなりの頻度ある」と答えた者は、体育館群で64.5%、屋外群で18.4%と、体育館群のほうが有意に多かった(χ²=23.6, p<0.001)。一方で、「ほ

とんど感じたことがない」および「まったく感じたことがない」と答えた者はいずれも屋外群のほうが有意に多く、屋外群では身の危険を感じる頻度が少なかった(χ²=17.0, p<0.01, およびχ²=4.5, p<0.05)。

(3)練習中の熱中症経験の有無は、「軽度」が体育館群で67.7%、屋外群で34.7%、「中等度~重度」が体育館群で16.1%、屋外群で2.0%と、熱中症の程度に関わらず有意に体育館群に熱中症経験者が多かった(χ²=12.0, p<0.001, およびχ²=6.1, p<0.05)。一方で、「熱中症の経験なし」と答えた者は、体育館群で16.1%、屋外群で63.3%となり、熱中症未経験者は屋外群のほうが有意に多かった(χ²=26.1, p<0.001)。

(4)クラブ活動中の熱中症対策については、両群ともに9割がこまめな水分補給を実施していた。その他の対策も両群で類似していた。

(5)「現在の熱中症対策で身体パフォーマンスが保たれているかどうか」については、「十分ではない」と答えた者が体育館群で35.5%、屋外群で14.5%、「全く保たれていない」と答えた者が体育館群で17.7%、屋外群で0%であった。いずれも有意に体育館群で不満が多かった(χ²=4.0, p<0.05, およびχ²=9.7, p<0.01)。

(6)「更なる熱中症対策の必要性の有無」に関しては、「必要」と答えた者が体育館群で83.9%、屋外群で25.8%と、体育館群のほうが有意に多かった(χ²=30.3, p<0.001)。

表1 K体育館の夏季平均気温、湿度、WBGT

	9時		12時		15時	
	K体育館	神戸市	K体育館	神戸市	K体育館	神戸市
平均気温(℃)	31.6±1.5 **	28.7±1.8	31.7±1.7 *	30.4±2.3	31.7±1.7 *	30.1±2.3
平均湿度(%)	60.2±7.1 **	79.1±9.2	60.3±8.1	68.4±12.5	61.3±8.7	68.6±11.9
WBGT(℃)	27.2±1.0	27.9±1.7	26.8±1.5 **	29.0±1.8	27.1±1.6 *	28.7±1.7

標準偏差
K体育館と神戸市(神戸市気象台による屋外測定)の比較:**p<0.01, *p<0.05
K体育館のWBGTが28℃以上になった日は19日間で9日(47.4%)であった。

表2 体育館群と屋外群における熱中症に関する意識の違い

			体育館群 (n=62)	屋外群 (n=49)	χ^2 値	p値
Q1 暑さの影響で身体パフォーマンスが低下すると感じる頻度	かなりの頻度ある	(%)	67.7	26.5	18.6	p<0.001
	時々ある	(%)	17.7	38.8	6.1	p<0.05
	ごくたまにある	(%)	11.3	18.4	1.1	n.s
	ほとんどない	(%)	0.0	6.1	3.9	n.s
	全くない	(%)	3.2	8.2	1.3	n.s
	なんともいえない	(%)	0.0	2.0	1.3	n.s
Q2 練習中、暑さの影響で身の危険を感じたことがある頻度	かなりの頻度ある	(%)	64.5	18.4	23.6	p<0.001
	時々ある	(%)	21.0	18.4	0.1	n.s
	ごくたまにある	(%)	11.3	20.4	1.8	n.s
	ほとんどない	(%)	0.0	24.5	17.0	p<0.01
	全くない	(%)	3.2	14.3	4.5	p<0.05
	なんともいえない	(%)	0.0	4.1	0.1	n.s
Q3 練習中の熱中症症状の経験の有無	ある（軽度）	(%)	67.7	34.7	12.0	p<0.001
	ある（中等度～重度）	(%)	16.1	2.0	6.1	p<0.05
	ない	(%)	16.1	63.3	26.1	p<0.001
Q4 練習中の熱中症対策（複数回答可）	こまめな水分補給	(%)	90.3	91.8	0.1	n.s
	氷等で身体を冷やす	(%)	11.3	14.3	0.2	n.s
	その他の方法で対策	(%)	12.9	4.1	2.6	n.s
	ほとんど対策していない	(%)	1.6	6.1	1.6	n.s
	全く対策していない	(%)	4.8	2.0	0.6	n.s
Q5* 現在実施している熱中症対策で身体パフォーマンスが保たれているかどうか	全く問題なし	(%)	21.0	11.3	0.8	n.s
	まずまず	(%)	19.4	37.1	9.7	p<0.01
	十分ではない	(%)	35.5	14.5	4.0	p<0.05
	全く保たれていない	(%)	17.7	0.0	9.7	p<0.01
	どちらともいえない	(%)	3.2	9.7	3.3	n.s
Q6 今後更なる熱中症対策の必要性の有無	必要である	(%)	83.9	25.8	30.3	p<0.001
	必要ない	(%)	6.5	22.6	9.9	p<0.01
	どちらともいえない	(%)	8.1	30.6	15.2	p<0.001

※<Q4>で「熱中症対策あり」と答えた対象のみに質問した。

体育館競技と屋外競技において、各回答の比率に有意な違いがあるかどうかを χ^2 検定にて調べた。n.s : not significant

考 察

2階に設置された床面積1485m²のK体育館において、夏季の気温は、9時から15時の時間帯でいずれも31℃を超えており、同じ大阪湾に面した神戸市気象台の外気温と比較して有意に高温であることが

明らかとなった。このことは予想に反す結果であった。一方で、先に述べたようにWBGTに7割の影響を及ぼす湿度は、天気や朝露に左右されやすい屋外で約70～80%を観測したのに対して、K体育館では60%前後に保たれていることも明らかとなった。今回の調査では、湿度の次にWBGTに影響を

及ぼす輻射熱に関しては、単独では数値化できていないが、屋外に比べて K 体育館の気温は有意に高いにも関わらず、太陽高度の高い 12 時、15 時の時刻で WBGT が有意に低値を示した要因の 1 つには、湿度の影響が考えられた。しかしながら、K 体育館における WBGT の詳細をみると、測定日のおよそ 50% の日は、WBGT が 28°C 以上（嚴重警戒レベル）に相当し、いわゆる熱中症の危険性が高まり、運動を行う場合は頻繁な水分補給や休息が求められる環境にあったことも事実である。このような結果となった要因には、K 体育館は 2 階に設置されており、1 階にある室内空間よりも太陽光の影響を受けて蓄熱しやすい構造にあることが影響していると考えられた。1 階と 2 階に設置された異なる体育館において、夏季の室内環境を調査した府木ら⁶⁾の研究によると、2 階に設置された床面積 1409m²の体育館では、平均気温 30.1°C、平均 WBGT は 27.8°C、WBGT が 28°C を超えた日は 43.8% であったと報告している。一方で 1 階に設置された床面積 907m²の体育館では、平均気温 29.3°C、平均 WBGT は 26.7°C で WBGT が 28°C を超えた日は 28.1% と報告しており、床面積に関わらず、2 階に位置するほうが気温や WBGT は高い傾向が伺える。測定の地域や年度、時刻は異なるが、2 階で調査された府木らの報告と本研究の体育館環境や気温、WBGT の結果は類似しており、建造物の特徴が反映されている可能性を支持できると考える。

同時期に実施したクラブ活動における熱中症の実態調査では、体育館群と屋外群で大きな違いがあることが明らかとなった。直射日光の影響を受ける屋外群よりも、体育館群に熱中症経験者が有意に多かったことも予想外の結果であった。さらに、熱中症対策への意識は両群ともに 9 割を超え、こまめな水分補給を中心に同様の対策を行っていたにも関わらず、暑さへの不満やパフォーマンス低下の認識は体育館群のほうが有意に多かったことは、注目すべき点と考える。一般に、暑熱環境下での運動は、深部体温の上昇により運動継続時間を短くさせ、運動のパフォーマンス低下や反応時間の遅延を早期に招

くことが知られている^{7,8)}。このことから、前述した K 体育館環境の実態を鑑みると、夏季の熱中症対策には、気温が上昇しやすい空間内をいかに排熱させるかも重要なポイントだと思われる。

また、体育館群のほうが「現在実施している熱中症対策では十分ではない」と感じている者が有意に多かったことから、K 体育館の環境面以外にも、体育館群では個人レベルで適切な量の水分補給がなされていたのか、あるいは適時十分な保冷が行われていたのかといった質的な疑問も抱いた。坂手らの報告⁹⁾によると、熱中症経験の有無や重症度を調査した大学生の 9 割以上が、熱中症に対して正しく認識はしているものの、その知識は十分ではなく、熱中症に対する効果的な教育と対策の必要性について提唱している。今回明らかになった K 体育館環境の実態と体育館群および屋外群の意見の違いを統括すると、体育館群のほうが熱中症への対策が不十分である可能性も示唆された。

今後の展望として、K 体育館の特性を理解したうえで、安全な夏季スポーツ活動が行えるよう、体育館群を対象とした夏季練習時の水分補給の実態調査や指導なども実施していく必要があると考える。

まとめ

1. 夏季における K 体育館環境の実態を調査し、体育館群と屋外群で夏季スポーツ活動時の熱中症の実態や暑さ認識などの違いを検討した。
2. K 体育館環境は、気温は屋外より有意に高いが、湿度は 60% 前後に保たれており、12 時、15 時の WBGT は屋外に比較すると有意に低値を示した。その一方で、WBGT が 28°C を超える「熱中症嚴重警戒レベル」の日は、測定日の約 50% を占めた。
3. 体育館群の方が屋外群に比較して、運動時のパフォーマンス低下を感じる頻度や熱中症経験者が有意に多かった。この要因には、K 体育館は 2 階に位置しており、太陽光で蓄熱しやすい構造にあることや、体育館群の方が熱中症への対

策が不十分な可能性が示唆された。

利益相反申告

本研究の論文発表に関して、すべての著者において開示すべき利益相反関係はない。

著者貢献

著者 MK は研究の着想とデザインの組み立てを行い、研究機関を決定した。著者 HK, SS, TS, YS はデータの収集と分析を担当した。データの解釈および妥当性について著者 MK が吟味を加えた。草稿は著者 YS と SS が担当し、著者 MK が修正と加筆を行った。すべての著者が原稿を批判的にレビューし、投稿を承認した。

引用文献

- 1 International Standard (ISO7243) : Hot Environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature), 1982.
- 2 中井誠一：熱中症の発生実態と環境温度。日本生気象学会誌41(1)：51-54, 2004.
- 3 中井誠一, 新矢博美, 芳田哲也, 他.: スポーツ活動および日常生活を含めた新しい熱中症予防対策の提案 - 年齢, 着衣および暑熱順化を考慮した予防指針 -. 体力科学56 (4) : 437-444, 2007.
- 4 川原貴, 伊藤静雄, 井上芳光, 他. : スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック. 平成25年度版改訂. 公益財団法人日本体育協会, 東京: pp16-19, 2013.
- 5 環境庁: 熱中症予防情報サイト. https://www.wbgt.env.go.jp/wbgt_data.php (アクセス: 2019年8月6日~9月11日)
- 6 府木薫, 文谷知明: 屋内体育施設における7・8月期の環境温度の実態. 川崎医療福祉学会誌19 (1) : 185-188, 2009.
- 7 J.M.Parkin, M.F.Carey, S. Zhao, et el. : Effect of ambient temperature on human

skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. J Appl Physiol. 86: 902~908, 1999.

- 8 風間彬, 高津理美, 長谷川博: 体温上昇が持久的運動時における認知機能に及ぼす影響. 体力科学61 (5) : 459-467, 2012.
- 9 坂手誠治, 澤井睦美, 南和広, 他.: 大学生におけるスポーツ活動時の熱中症に関する実態調査. 日本生気象学会誌49 (4) : 157-163, 2013.

< Abstract >

Actual conditions about gymnasium environment and heatstroke
during summer sports activities at K University

Megumi Kinoshita¹⁾ Saki Shiono²⁾ Yuma Sugita³⁾
Takahiro Shimotsu⁴⁾ Haruna Kawase⁵⁾

- 1) Department of Physical Therapy, Kobe international university,
- 2) Miyaji Hospital
- 3) Kosei Hospital
- 4) Yoshida Hospital
- 5) Rinku General Medical Center

The purpose of this study was to reveal the environment of the gymnasium of K University (K-Gym). Specifically, temperature, humidity, and WBGT of K-Gym were measured at 9:00, 12:00, and 15:00. For the outdoor data on the same day and at the same time, we used the data measured by the Kobe City Meteorological Observatory. Then, temperature, humidity, and WBGT were compared between the K gym and the outdoors. Furthermore, in order to know the actual condition of heatstroke during sports, questionnaire evaluation was conducted for club members who used the K-gym (gym group) and outdoor club members (outdoor group). The contents of the questionnaire were compared between two groups. As a result, temperature at K-Gym was significantly higher than 31°C at all times. Furthermore, 47.4% of the measurement days corresponded to WBGT 28.0°C or higher. From the questionnaire, gym group was significantly more complaints about decline of performance during sports. And frequency of heatstroke was also significantly increased. The K gym was located on the 2nd floor and had a structure where sunlight could easily store heat. This seemed to affect poor performance and the frequency of heatstroke. Even indoors, during summer sports, it is necessary to consider the structure of the gymnasium, and take measures against heatstroke.

Key Word: heatstroke, gymnasium, WBGT

肩井（経穴）への押圧刺激が 僧帽筋上部線維の組織弾性に与える影響

—Shear Wave Elastography を用いた筋組織弾性の評価—

長 渡 咲 季¹⁾ 高 野 大 輔¹⁾ 南 場 芳 文^{1,2)}
大 谷 啓 尊²⁾ 高 田 輝 彦¹⁾

1) 大久保病院リハビリテーション科

2) 神戸国際大学リハビリテーション学部

要 旨

本研究の目的は、経穴への徒手による押圧刺激が筋組織弾性に与える影響を明らかにすることである。対象者は健常成人男性10名（被験部位20肩）とした。押圧刺激は、利き手側の僧帽筋上部線維に対し、肩峰と第7頸椎間の中間に位置する僧帽筋上部線維上の経穴（肩井）を刺激した。コントロール刺激は、非利き手側の僧帽筋上部線維に対し、経穴が存在しない肩井と第7頸椎間の中間部位を刺激した。筋組織弾性の評価は超音波エラストグラフィーによる測定を行った。測定部位は第7頸椎と肩井の midpoint、肩井直上、肩井と肩峰の midpoint の3箇所とした。各部位から得られた組織弾性を平均し、僧帽筋上部線維の組織弾性を評価した。筋組織弾性の評価は介入前後に実施し、介入前後の変化量を介入効果の指標とした。結果、経穴側はコントロール側と比較し有意に筋組織弾性の低下を認めた ($p < 0.001$, Cohen's $d = 1.95$)。経穴への押圧刺激は筋硬度を低下させることが示唆された。

キーワード：僧帽筋, 超音波エラストグラフィー, 経穴

1. はじめに

理学療法において関節可動域制限因子を追究することは重要であり、関節可動域制限に対し効率的な理学療法を実施するには各筋単位での評価が求められる。関節可動域制限の因子には、骨格筋が関与するものとして、過剰な筋収縮や筋攣縮があり、これらの緩和を目的とした理学療法が実施される。この際の筋組織弾性の評価は、関節可動域検査や触診による圧痛所見の確認が一般的である。しかし、関節可動域を指標に筋組織自体の改善度を評価することは困難である。また、触診により筋組織の硬度を評

価する場合、検者の主観的判断が優勢となるため客観的信頼性や再現性に乏しいという問題がある。近年、生体組織の硬さを客観的に評価するために Shear wave elastography (以下, SWE) 法を用いた評価方法が普及している。SWE 法は組織外部から加えた力によって生じた組織内部のひずみや弾性波の速度を観察、測定する画像診断技術であり、非侵襲的に生体組織の弾性を定量化できる。カラーマッピングを利用した組織弾性の可視化が可能であり、関節可動域練習の効果判定といった理学療法評価に導入、活用されることが期待されている。

本研究では東洋医学の経穴刺激について着目し

た。経穴とは皮膚結合組織と筋系の間に存在し、体表筋膜が神経、血管束によって貫通された円形ないし細長い約2～7mmの孔とされている¹⁾。また、経穴は硬結、皮膚のざらつき、圧痛などを複合的に判断される。東洋医学における経穴刺激は、経絡に伝達され、臓腑、組織、筋肉、皮膚の循環を改善し、その機能を調節するのに用いられる。鈴木ら²⁾は鍼灸治療に関して経穴刺激理学療法を終了直後から交感神経の興奮性の低下を報告しており、理学療法への応用がなされている。臨床では筋硬結部位を対象として筋組織弾性の改善を図るために治療が行われるが、経穴を対象とした理学療法の知見は少ないのが現状である。そこで我々は、徒手的な経穴への刺激が筋組織弾性へ及ぼす影響について検証した。

2. 方法

2.1 対象

研究デザインは介入研究である。対象は既往歴に肩関節疾患のない健常成人男性10名の左右20肩とした。平均年齢 27.7 ± 2.8 歳、平均身長 171.7 ± 4.5 cm、平均体重 68.2 ± 4.9 kgであった。なお利き手は全例右手であった。本研究は、ヘルシンキ宣言に基づいて、対象者へ事前に本研究の目的、方法、実験に伴う危険性について口頭による十分な説明を行い、同意を得たうえで実施した。なお、本研究は大久保病院倫理委員会での承認を得た（承認番号：0302）。

2.2 介入方法

対象筋は刺激部位を経穴とするため表層に存在する僧帽筋上部線維とした。刺激部位は利き手側の肩井、非利き手側（コントロール側）の肩井から第7頸椎棘突起の midpoint とした。経穴は2～7mmの孔¹⁾であると定義されていることから、コントロールの刺激部位は経穴への影響を最小限にするために肩井との距離も十分に確保できるよう設定した。なお、測定部位はメジャーを用いて同定した後、体表にスキンマーカでマーキングし、刺激部位と測定部位が

一定になるようにした（図1）。介入時の被験者の姿勢は、股関節90°屈曲位、耳垂から大転子の結んだ線が床に対して垂線となるような安静座位姿勢とし、両上肢は重力の影響がないように両手掌を両膝関節に置いてもらった。押圧刺激は両母指指腹を用い、刺激時間は1分間、刺激強度は被験者が Numerical Rating Scale（以下、NRS）にて4程度の痛みが出現した時点で申告させ、その時点の強度を維持しながら押圧刺激を行った。介入者は被験者に対して、僧帽筋上部線維の異なる部位に刺激することを事前に伝え、被験者が経穴か非経穴かを判断できないようにした。

2.3 筋組織弾性の評価

僧帽筋上部線維の組織弾性の測定には超音波画像診断装置 EPIQ 5（Philips 社製）SWE モードにてリニアプローブを使用し行った。測定部位は僧帽筋上部線維の分布に考慮し、肩井から第7頸椎棘突起間の midpoint、肩井、肩井から肩峰の midpoint の計3箇所とした。測定時期は介入前の経穴側とコントロール側の僧帽筋上部線維を測定し、押圧刺激による介入後に再測定を行った。測定時の Region of Interest



図1 超音波エラストグラフィの測定部位
超音波エラストグラフィの測定点（1～3）を示した。図のように測定部位にマーキングし、測定時には各マーク上にプローブを設置し評価を行った。（1）：第7頸椎棘突起（C7）から肩井の midpoint、（2）肩井、（3）肩井から肩峰の midpoint

(ROI) は1点が直径3mmの円形範囲とし、得られた画像から10点分がランダムに選択された。測定3箇所を合わせた計30点の組織弾性の平均値を求め、介入前後における組織弾性の差を介入効果の指標とした。なお、介入および測定は、これらに必要な技能を十分に有したセラピスト2名が担当した。

2.4 統計学的解析

統計学的解析には、R (ver.4.0.4) を用いて対応のある t 検定による経穴側とコントロール側の介入前の組織弾性と介入効果を比較した。なお、事前に Shapiro-Wilk 検定で正規性を確認し、統計学的有意差を認めた場合に事後検定として効果量 (Cohen's d) を算出した。統計学的有意水準は5%とした。

3. 結果

結果を表1に示した。介入前における経穴側とコントロール側の僧帽筋の組織弾性は有意差を認めなかった ($p = 0.787$)。介入効果について経穴側はコントロール側と比較し有意に組織弾性の低下を認めた ($p < 0.001$, $d = 1.95$)。

4. 考察

本研究は経穴（肩井）への押圧刺激と非経穴の上肢帯上部への押圧刺激が僧帽筋上部線維に及ぼす影響について SWE 法を用いて検討した。その結果、介入後の僧帽筋の組織弾性は経穴側がコントロール

側に比べて有意な低下を認めた。

超音波画像診断とは超音波を送受信するプローブから超音波を生体内に送信し、異なる組織ごとの境界面で反射して戻ってくるエコー信号をプローブが受信するまでに要した時間及び反射振幅の強弱から組織断層を画像化する技術である。超音波画像は運動器構成体（筋、靭帯、腱、関節包、神経、軟骨など）や内臓組織の情報、状態を評価することが可能であり、SWE 法は組織内を伝播する横波から組織弾性を求めて定量化できる。

肩井は東洋医学の中で第7頸椎棘突起から肩峰の中間部にある経穴とされている³⁾。対象とした僧帽筋上部線維の付着部は後頭骨中央から項靭帯、第7頸椎棘突起、肩甲棘、鎖骨の外側1/2に付着し、頸後部から肩甲帯上方までの表層を左右に大きく被う筋で副神経と頸神経叢から支配を受ける。本研究では、肩井は僧帽筋上部線維の走行部にあると判断し、刺激部位とした。蒲牟田ら⁴⁾は肩井の位置について第7頸椎棘突起から肩峰の midpoint としていることから、本研究で設定した刺激部位の経穴は肩井のみであり、他の経穴への影響は少ないものと判断した(図2)。

経穴側の介入効果では組織弾性が有意に低下したことから、徒手による経穴刺激は僧帽筋上部線維の筋弾性を低下させるのに十分な刺激であったと考えられ、同部位の筋硬度を低下させることが示唆された。古田ら⁵⁾は下腿三頭筋において押圧刺激により組織硬度が低下すると報告しており、菊池ら⁶⁾は指圧及び経穴マッサージの効果は身体柔軟性に影響すると報告している。本研究の結果は、これらの先行

表1 介入前後および介入効果の筋組織弾性の平均値と標準偏差

	介入前	介入後	介入効果 (介入後 - 前)	P 値 (Cohen's d)
組織弾性 (m/s)				
経穴側	3.79 ± 0.30	3.14 ± 0.25	-0.66 ± 0.26	P < 0.001 (d = 1.95)
コントロール側	3.81 ± 0.20	3.76 ± 0.25	-0.05 ± 0.18	

P 値および Cohen's d : 対応のある t 検定を用いて経穴側とコントロール側の介入効果を比較

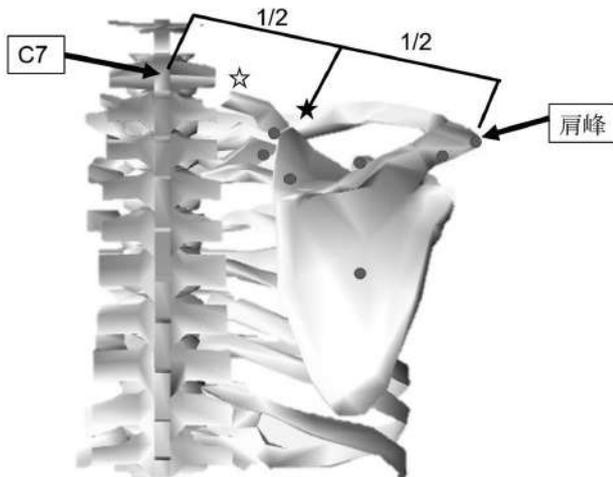


図2 肩甲帯部の経穴（蒲牟田春美：肩甲部・手部の経穴に関する標準部位）

図に肩甲帯部の経穴部位を示した。(★)は経穴刺激部位である肩井,(☆)はコントロール刺激部位のC7から肩井の中間点である。(●)は、その他の肩甲帯に存在する経穴部位である。肩井およびコントロール刺激部位の周辺には他の経穴は存在していない。

研究を支持する結果となった。

肩井への刺激による効果機序として、脊髄興奮性の低下やIb抑制の影響が想定される。Youngら⁷⁾は、ローラーマッサージを足底屈筋群に実施し、その際のH反射による脊髄興奮性について誘発筋電図で評価したところ、マッサージ中のH反射における振幅値は有意に低下し、刺激強度が強いほど抑制が顕著であったことを報告している。H反射はIa群の感覚神経を介した脊髄前角細胞の興奮から支配筋に発生する筋活動電位までを反映しており、Ib群の感覚神経による影響も受けることが知られている⁸⁾⁹⁾。手背部の経穴部位に対し圧刺激を実施した研究¹⁰⁾では、誘発筋電図において脊髄前角細胞の興奮の影響を受けるF波が圧刺激後も持続的に低下していることを報告している。本研究では、押圧部位が筋腱移行部ではなく筋腹であったことから、Ib抑制の効果は限定的な可能性がある。本研究での徒手的な押圧刺激は被験者の主観的強度として中等度と十分な強度を有していたことから、脊髄興奮性の抑制にかかる神経機構によって組織弾性が変化したと考えられた。コントロール側の僧帽筋上部線維に対しても押圧刺激を行ったが、経穴刺激側の僧帽筋上部線維の組織弾性のみが低下した。これは、

経穴が神経や血管が貫通する部位であることから、コントロール側の刺激に比べて神経束への直接的な刺激が誘因となり組織弾性が低下したものと考えられた。

本研究の結果より、徒手による肩井への経穴刺激は僧帽筋上部線維の筋緊張が高くなる可能性がある腱板修復術後や肩関節周囲炎などに対するリハビリテーションに応用できると考える。肩井に対する鍼治療では、鍼は3.5cm前後の深さに達し¹¹⁾、肩井に深く挿入すると失神や気胸などを引き起こすリスクがある¹²⁾。本研究の結果は、経穴に対し刺激が伝達される押圧強度であれば、鍼治療で生じやすいリスクを回避しながら筋組織弾性を改善できる可能性がある。また姿勢によって鍼治療の深度が変わることからも¹¹⁾、座位以外での肢位での経穴刺激の効果の検討は必要だが、僧帽筋上部線維へのリラクゼーションを目的とした効果的なセルフケアの方法の1つとして患者指導への応用も期待できる。

本研究の限界として、筋組織弾性以外の指標を評価していない点がある。先行研究では、上背部痛患者に対する肩井への経穴刺激によって主観的疼痛強度や可動性、局所表在血流で改善が認められているものの¹³⁾、本研究から関節可動域や筋力発揮等への影響についての言及できない。もう1点は、押圧強度について被験者の主観的強度を指標としていることである。疼痛閾値は個々で異なるため、アルゴメーターを用いて客観的に表すことが再現性の観点から重要だが¹⁴⁾、研究環境の限界から検証できなかった。今後これらの点を改善し、深層筋である棘上筋や肩甲挙筋、前鋸筋への他部位への波及効果についても検討する必要がある。

5. 文 献

- 1 ハルムートハイネ, 山元敏勝. 刺鍼術経穴の機能解剖学. 日本鍼灸良導絡医学会誌 23 (2) : 15-20, 1995.
- 2 鈴木敏明, 米田浩久, 谷埜予士次, 他. 経穴刺激理学療法の効果に関する基礎的検討 - 尺沢へ

- の抑制手技が母指球筋の F 波および自律神経機能に与える影響. 理学療法学 40 (2) : 136-137, 2013.
- 3 林健太朗, 徳竹忠司, 濱田淳. 頸・肩上部の肩こりに対する低周波鍼通電療法の影響. 日本東洋医学系物理療法学会誌 40 (2) : 101-107, 2015.
 - 4 蒲牟田春美, 木下晴都. 肩甲部, 手部の経穴に関する標準部位の研究. 全日本鍼灸学会雑誌 39 (3) : 318-325, 1989.
 - 5 古田高征. 押圧刺激が組織硬度や主観的感覚におよぼす影響. 日本東洋医学系物理療法学会誌 43 (2) : 73-78, 2018.
 - 6 菊池真, 青野都, 石川恵子. 指圧及び経穴マッサージが体温と身体柔軟性に及ぼす影響. 日本伝統医療看護連携学会誌 1 (1) : 57-64, 2020.
 - 7 Young JD, Spence AJ, Behm DG. Roller massage decreases spinal excitability to the Soleus. *Journal of Applied Physiology* 124(4): 950-959, 2018.
 - 8 Burke D, Gandevia SC, McKeon B. Monosynaptic and oligosynaptic contributions to human ankle jerk and H-reflex. *Journal of neurophysiology* 52(3): 435-448, 1984.
 - 9 Pierrot-Deseilligny E, Morin C, Bergego C, et al. Pattern of group I fibre projections from ankle flexor and extensor muscles in man. *Experimental Brain Research* 42(3-4): 337-350, 1981.
 - 10 門田美咲, 井上直人, 北原拓. 上都への経穴刺激理学療法における脊髄神経機能への影響について. 関西理学療法 18 : 60-63, 2018.
 - 11 Chu H, Kim J, Ha W, et al. Change of safe needling depth at acupoint GB21 according to posture and breathing. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. Article 2308102, 2018.
 - 12 Zhang J, Shang H, Gao X, et al. Acupuncture-related adverse events: a systematic review of the Chinese literature. *Bulletin of the World Health Organization* 88: 915-921, 2010.
 - 13 Lee SH, Lu WA, Lee CS, et al. The therapeutic effect of collateral meridian therapy is comparable to acupoint pressure therapy in treating myofascial pain syndrome. *Complementary therapies in clinical practice* 20(4), 243-250, 2014.
 - 14 Kinser AM, Sands WA, Stone MH. Reliability and Validity of a Pressure Algometer. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23(1): 312-314, 2009.

< **Abstract** >**The Effect of Pressure Stimulation at the Acupoint GB21(Acupuncture points)
on Elasticity of Trapezius Upper Fibers**

– Evaluation of Skeletal Muscle Elasticity Using Shear Wave Elastography –

Saki Nagato¹⁾ Daisuke Takano¹⁾ Yoshifumi Nanba^{1,2)}
Yoshitaka Otani¹⁾ Teruhiko Takata¹⁾

- 1) Department of Rehabilitation, Okubo Hospital
- 2) Faculty of Rehabilitation, Kobe International University

The purpose of this study is to clarify the effects of using acupoint stimulation on muscle elasticity. We examined 10 healthy young adults (20 shoulders). The pressure stimulation for 1 min was applied to the acupuncture point (Gall-bladder Mridian; GB21) on the upper trapezius of the dominant hand side between the acromion and the 7th cervical vertebra. As a control stimulus, the upper trapezius of the non-dominant hand side was stimulated at the midpoint between the GB21 and the 7th cervical vertebra. The changes in muscle elasticity were measured using ultrasound elastography on upper trapezius fibers. The measurement sites were the midpoint between the 7th cervical vertebra and the shoulder, the GB21, and the middle between the GB21 and the acromion. The muscle elasticity of the upper trapezius was evaluated by averaging the elasticity values obtained from each measurement site. The muscle elasticity was measured pre and post the intervention, and the variation of pre-post interventions was evaluated as an index of the intervention effect. The results showed that acupoint stimulation decreased muscle elasticity compared to the control side ($p < 0.001$, Cohen's $d = 1.95$). Our results showed that acupoint pressure stimulation reduced muscle stiffness.

Key Word: Trapezius, Ultrasound elastography, Acupuncture points

Original article

RESISTANCE AND STRETCHING PRACTICE OF COACHES IN JAPAN

Kosuke Takeuchi

Kobe International University

Abstract.

[Purpose] The purpose of the present study was to investigate the resistance training and stretching protocols of coaches in Japan.

[Methods] 245 coaches of 30 different sports completed a self-reporting questionnaire. The questionnaire was split into four sections and contained fixed-response questions. Section One identified participant demographics and the second to fourth sections required the participants to detail the resistance training, static stretching, and dynamic stretching they used.

[Results] There were 149 coaches using resistance training to improve performance and prevent injuries. The median values of the number of repetitions, sets, and frequency of the resistance training were 10 repetitions, 3 sets, and 2 times/week respectively, regardless of whether weight was used for the training. The median values of static and dynamic stretching were both 15 seconds. The purpose of static stretching was to increase flexibility ($p < 0.05$) and prevent injuries ($p < 0.05$), while the purpose of dynamic stretching was to increase flexibility ($p < 0.05$), prevent injuries ($p < 0.05$), and improve performance ($p < 0.05$). For stretching intensity, the number of coaches using stretching with an intensity at lower than the point of discomfort and leaving the stretch intensity up to the athlete indicated higher values than the number of coaches using stretching with intensity at the maximum point of discomfort, in both static and dynamic stretching (all $p < 0.05$).

[Discussion] The results of the present study showed gaps between evidence and practice.

Key words: Resistance training, Static stretching, Dynamic stretching, Protocol

1. Introduction

Coaches commonly use resistance training and stretching with their athletes^{1,2)}. The protocols of strength training and stretching are changed depending on their purposes. Takeuchi et al.¹⁾ investigated the static and dynamic stretching

protocol used by Japanese coaches and showed that 20 seconds of static stretching was used to increase flexibility and prevent injuries. Takeuchi et al.¹⁾ reported that 20 seconds of static stretching would be too short to prevent injuries because more than 180 seconds of static stretching was needed to decrease the stiffness of the muscle-

tendon unit³⁻⁵). However, the previous study did not examine the intensity of stretching¹). Recent studies showed that static stretching at the maximum point of discomfort decreases stiffness even if the duration of the stretching is less than 20 seconds^{6, 7}). Therefore, it is necessary to further investigate the intensity of stretching.

There is much evidence on the effective protocols of resistance training⁸⁻¹⁴). However, it is unclear whether coaches in Japan use the evidence properly because there are no studies that have investigated the protocols of resistance training in Japan. In the United States, resistance training programs have been reported for each sport^{2, 15, 16}), and effective resistance training programs are being developed.

Therefore, the purpose of the present study was to investigate the resistance training and stretching protocols of coaches in Japan.

2. Materials and Methods

2.1. Subjects

301 coaches registered as sport instructors of the Japan Sport Association participated in the

study and were recruited at a training session of the Japan Sport Association. They were informed of the requirements and risks associated with their involvement in this study and signed a written informed consent document. No coach or team name was associated with any responses to protect the confidentiality of the coaches. This study was approved by the ethics committee of * University.

2.2. Procedure

The present study was conducted using a self-reporting questionnaire in Japanese. The readability of the questionnaire was assessed by 5 conditioning coaches prior to use, and there was further refinement of questions prior to it being given to the coaches.

2.3. Contents of the questionnaire

The questionnaire was split into four sections and contained fixed-response questions (Table 1), which generated categorical and ordinal data. Section One of the questionnaire identified participant demographics. The second section required the participants to detail the resistance training they used. The third and fourth sections

Table 1. Content of Questionnaire

Section 1
What is/are the sports you coach?
How long is your career as a coach?
Section 2
Do you use resistance training?
What is your purpose for using resistance training? (multiple answers possible)
(Improve performance/ Prevent injuries/ Increase flexibility)
Which is your resistance training method? (multiple answers possible)
(Calisthenics training/ Weight training)
Please describe the number of repetitions, number of sets, length (minutes) of the session, and frequency of your resistance training (times/week).
Section 3 and 4 (Section 3 is about static stretching, and Section 4 is about dynamic stretching)
Do you use stretching as a warm-up or cool down routine for your athletes?
What is your purpose for using stretching? (multiple answers possible)
(Increase flexibility/ Improve performance/ Prevent injuries / Recovery from fatigue)
Please describe the one bout duration (seconds), total duration (seconds), and frequency of your stretching (times/weeks).
How strong is your stretching?
(Intensity at lower than the point of discomfort/ Intensity at the maximum point of discomfort/ Leave it up to the athlete)

required the participants to detail the static and dynamic stretching they used.

2.4. Data collection

The self-reporting questionnaire was distributed to 301 coaches. 252 coaches returned it, but 49 coaches did not. The responses of 7 coaches were excluded because of deficiencies of description. Finally, responses of 245 coaches were used in analyses.

2.5. Statistical Analyses

Data were analyzed using the IBM Statistical Package for Social Sciences (version 25) software. The significance was set at $p < 0.05$. Chi-squared tests were conducted to examine the difference of categorical and ordinal data. The Mann-Whitney U-test was used to compare the differences in numbers of repetitions and sets, length of resistance training sessions, and frequency between calisthenics and weight training. Moreover, the Mann-Whitney U-test was used to describe the difference in one bout duration, total duration, and frequency between static and dynamic stretching.

3. Results

3.1. Characteristics of the coaches

A total of 245 questionnaires were valid for the analysis. The average career of the coaches was 17.3 ± 10.7 years. There were 30 sports represented,

including: volleyball ($n = 49$), tennis ($n = 43$), softball ($n = 32$), archery ($n = 13$), skiing ($n = 12$), baseball ($n = 11$), track and field ($n = 11$) soccer ($n = 11$), bowling ($n = 6$), handball ($n = 5$), gymnastics ($n = 4$), hockey ($n = 4$), rugby ($n = 4$), table tennis ($n = 4$), basketball ($n = 3$), canoeing ($n = 3$), badminton ($n = 2$), bayonet ($n = 2$), curling ($n = 2$), equestrian ($n = 2$), fencing ($n = 2$), ice hockey ($n = 2$), judo ($n = 2$), mountaineering ($n = 2$), sailing ($n = 2$), swimming ($n = 2$), weightlifting ($n = 2$), American football ($n = 1$), gate ball ($n = 1$), wrestling ($n = 1$), and not described ($n = 5$).

3.2. Resistance training

There were 149 coaches using resistance training. 84 coaches used only calisthenics training, 22 coaches used only weight training, and 43 coaches used both calisthenics and weight training. In total, the number of coaches using calisthenics and weight training were 127 (85.2%) and 65 (43.6%), respectively. The Mann-Whitney U-test found that there was a significant difference in the length of resistance training sessions between coaches using only calisthenics and weight training ($p < 0.01$), but there were no significant differences in the number of repetitions ($p = 0.07$), number of sets ($p = 0.74$), or frequency ($p = 0.28$) (Table 2). The purposes of the resistance training were to improve performance (116 of 149 coaches, 77.9%, $p < 0.05$) and to prevent injuries (97 of 149 coaches, 65.1%, $p < 0.05$).

Table 2. Repetition, set length and frequency of resistance training

	Number of repetitions (rep)	Number of sets (set)	Length of resistance training (minute)	Frequency of resistance training (times/week)
Coaches used resistance training ($n = 149$)	10 (8 - 15)	3 (2 - 3)	30 (20 - 60)	2 (2 - 3)
Coaches used only calisthenics training ($n = 84$)	10 (7 - 20)	3 (2 - 3)	30 (15 - 30)	2 (2 - 3)
Coaches used only weight training ($n = 22$)	8 (4 - 10)	3 (3 - 4)	60 (32.5 - 105)*	2 (2 - 3)

Values were described as median (25% - 75%). * $p < 0.01$ (vs. Coaches used only calisthenics training)

3.3 Static and dynamic stretching

There were 225 coaches using static and/or dynamic stretching, while 20 coached did not. 85 coaches used only static stretching, 17 coaches used only dynamic stretching, and 123 coaches used both types of stretching. In total, the number of coaches using static and dynamic stretching were 208 and 140, respectively. The purpose of static stretching was to increase flexibility (155 of 208 coaches, 74.5%, $p < 0.05$), and prevent injuries (166 of 208 coaches, 79.8%, $p < 0.05$), while the purpose of dynamic stretching was to increase flexibility (90 of 133 coaches, 64.3%, $p < 0.05$), prevent injuries (94 of 133 coaches, 67.1%, $p < 0.05$), and improve performance (98 of 133 coaches, 70.0%, $p < 0.05$) (Figure 1). There was no significant difference in one bout duration ($p = 0.86$), total duration ($p = 0.59$), or frequency of stretching between static and dynamic stretching ($p = 0.92$) (Table 3). For stretching intensity, the intensity at

lower than the point of discomfort and leaving it up to the athlete indicated higher values than the intensity at the maximum point of discomfort for both types of stretching ($p < 0.05$) (Figure 2).

4. Discussion

The survey response rate was 83.7% (252 of 301). The response of the present study exceeded those of the previous studies (42.7-69.0%)¹⁵⁻¹⁷. It suggested that the coaches were willing to share information regarding their resistance and stretching protocols.

Resistance training was conducted by 149 of 245 coaches (59.3%). Furthermore, calisthenics and weight training were conducted by 127 and 65 coaches, respectively. The purposes of the resistance training were to increase flexibility, improve performance, and prevent injuries. Previous studies reported that resistance training

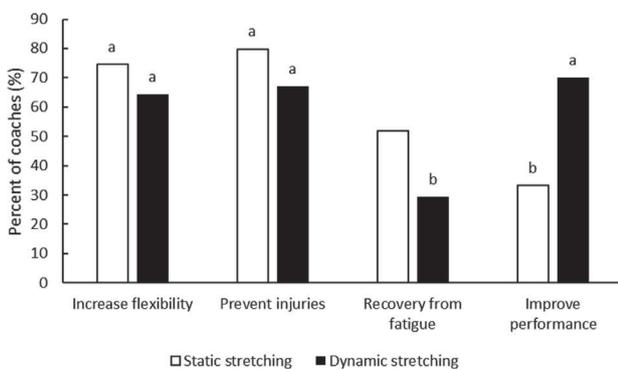


Figure 1. The purpose of static (n = 208) and dynamic stretching (n = 140) (multiple choice). a significantly higher values than the Chi-squared expected frequency ($p < 0.05$). b significantly lower values than the Chi-squared expected frequency ($p < 0.05$).

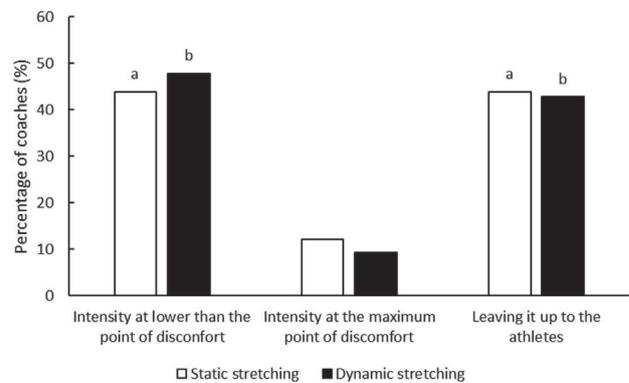


Figure 2. The intensity of static (n = 208) and dynamic stretching (n = 140). a significantly higher values than the intensity at the maximum point of discomfort in static stretching ($p < 0.05$). b significantly higher values than the intensity at the maximum point of discomfort in dynamic stretching ($p < 0.05$).

Table 3. Duration and frequency of stretching

	One bout duration of stretching (sec)	Total duration of stretching (set)	Frequency of stretching (times/week)
Static stretching	15 (10 - 30)	200 (100 - 300)	3 (2 - 6)
Dynamic stretching	15 (10 - 30)	180 (100 - 300)	3 (2 - 5.5)

Values were described as median (25% - 75%).

was effective for athletes to increase muscle strength^{18,19}, improve various types of performance, such as jump¹², running and cycling endurance performance¹⁴, and to prevent injuries^{9,10}. Moreover, it was reported that resistance training, in addition to free play and other structured physical activity training, can serve as a protective means against injury and a positive catalyst for the development of physical literacy to offset the impact of diminishing physical activity and early sport specialization in today's youth⁹. In the present study, the differences in resistance training depending on the age and competition level of the athletes were not examined. It is necessary to further investigate these points.

Muscle hypertrophy and improvement of muscle strength by resistance training are related to its load^{11,12}, the number of repetitions¹¹, and frequency^{19,20}. The results of the present study showed that the median values of the number of repetitions, sets, length of resistance training, and frequency were 10 repetitions, 3 sets, 30 minutes, and 2 times/week, respectively. Moreover, there were no significant differences in the number of repetitions, sets, or frequency between coaches who used only calisthenics training and those who used only weight training, though there was a significant difference in length of resistance training. Regarding resistance training with a high-load, it is reported that gains in muscular strength are optimal with loads of 1–5 repetitions maximum, and hypertrophic gains are best achieved with loads of 6–12 repetitions maximum²¹. On the other hand, low-load resistance training is effective for increasing muscle strength and hypertrophic gains if the training is carried out to muscular failure^{8,11}. Ogasawara et al.⁸ examined the effects of low-load bench press exercise with the intensity of 30% repetition maximum and showed that the

average total number of repetitions for each exercise session was 141. Therefore, it was considered that coaches using weight training in the present study may achieve their purpose of resistance training for the improvement of performance, but coaches using calisthenics training did not achieve the purpose because of the insufficient number of repetitions. In the present study, it was not clear how much muscular failure coaches gave athletes through their resistance training sessions. Depending on the training environment, resistance training with weights may not be possible. It is necessary to propose effective resistance training methods that suit their environment.

Stretching practice was conducted by 225 of 245 coaches (91.8%). Furthermore, static and dynamic stretching were conducted by 208 (92.4%) and 140 (62.2%) coaches, respectively. These results were consistent with the previous study, which reported that static and dynamic stretching were conducted by 84.1% and 63.0%, respectively¹. The purposes of static stretching were to increase flexibility and to prevent injuries. A recent review recommended using static stretching as a part of warm-up programs because it prevents sports-related muscle-tendon injuries²². Previous reports have shown that too much stiffness of the muscle-tendon unit may lead to various lower-body injuries including soft-tissue, joint and bone injuries, occurring in non-contact situations^{23–25}. The relationship between relatively high stiffness and the incidence of sports-related injuries is due to a diminished cushioning effect from soft-tissues, resulting in greater stress^{26–28}. Therefore, it is important to decrease stiffness to prevent injuries. Static stretching decreases the stiffness effectively^{3,7,29}. The effects of static stretching on stiffness are affected by its duration^{3–5} and

intensity^{6,7,30}. Previous studies reported that more than 180 seconds of static stretching at an intensity of prior to the point of discomfort was needed to decrease the stiffness of the triceps surae^{3,5} and hamstrings⁴. On the other hand, it was reported that less than 20 seconds of static stretching at an intensity of the maximum point of discomfort decreased the stiffness of hamstrings^{6,7}. The results of the present study showed that there were many coaches who used 15 seconds of static stretching at an intensity lower than discomfort. These results indicated that static stretching may not change the stiffness, resulting in not achieving their purpose of preventing injuries. Because the risks of high-intensity static stretching have not been fully investigated, there should be caution when using it in sport warm-ups.

The purposes of dynamic stretching were to increase flexibility, improve performance, and prevent injuries. The median values of one bout and total duration of dynamic stretching were 15 and 180 seconds, respectively. Mizuno et al.³¹ reported that the stiffness of the triceps surae was not changed after 210 seconds of dynamic stretching. On the other hand, Iwata et al.³² and Matsuo et al.³³ reported that the stiffness of the hamstrings decreased after 300 seconds of dynamic stretching. It was unclear whether the differences in these findings are due to differences in duration or targeted muscles. However, it was possible that 15 seconds of dynamic stretching used in the present study did not change the stiffness. To our best knowledge, the effects of the intensity of the dynamic stretching were not examined. However, it is considered that high-intensity dynamic stretching may decrease stiffness in a short time as with static stretching^{6,7}.

It is possible that a sports-specific warm-up including dynamic stretching could prevent

injuries³⁴. However, it has not been examined whether dynamic stretching alone prevents injuries or not. Dynamic stretching for a total of more than 90 seconds improves various types of performance effectively³⁵⁻³⁷. The results of the present study showed that the median value of total duration of dynamic stretching was 180 seconds, which indicated that dynamic stretching used in the present study may improve performance.

The present study did not examine resistance training and stretching programs for each sport. The importance and purpose of resistance training and stretching may differ depending on the sport. As indicated in this study and previous studies, coaches use a variety of training methods in conjunction with each other, and it is not possible to investigate how each was implemented independently^{1,15}. Moreover, the present study did not examine exercises other than resistance training and stretching. In order to develop an effective training program, it is necessary for more detailed surveys for each sport.

5. Conclusion

The present study investigated resistance training and stretching protocols and showed gaps between evidence and practice. It is necessary to propose effective resistance training and stretching methods that suit each session's purpose and environment.

References

- 1 Takeuchi K, Nakamura M, Kakihana H, et al. A Survey of static and dynamic stretching protocol. *Int J Sport Heal Sci* 17:72-79, 2019.
- 2 Ebben WP, Carroll RM, Simenz CJ. Strength and conditioning practices of national hockey

- league strength and conditioning coaches. *J Strength Cond Res* 18(4):889, 2004.
- 3 Nakamura M, Ikezoe T, Takeno Y, et al. Time course of changes in passive properties of the gastrocnemius muscle-tendon unit during 5 min of static stretching. *Man Ther* 18(3):211–215, 2013.
 - 4 Matsuo S, Suzuki S, Iwata M, et al. Acute effects of different stretching durations on passive torque, mobility, and isometric muscle force. *J Strength Cond Res* 27(12):3367–3376, 2013.
 - 5 Nakamura M, Ikezoe T, Nishishita S, et al. Static stretching duration needed to decrease passive stiffness of hamstring muscle-tendon unit. *J Phys Fit Sport Med* 8(3):113–116, 2019.
 - 6 Takeuchi K, Nakamura M. The optimal duration of high-intensity static stretching in hamstrings. *PLoS One* 15(10):e0240181, 2019.
 - 7 Takeuchi K, Nakamura M. Influence of high intensity 20-second static stretching on the flexibility and strength of hamstrings. *J Sports Sci Med* 19:429–435, 2020.
 - 8 Ogasawara R, Loenneke JP, Thiebaud RS, et al. Low-load bench press training to fatigue results in muscle hypertrophy similar to high-load bench press training. *Int J Clin Med* 4:114–121, 2013.
 - 9 Zwolski C, Quatman-Yates C, Paterno M V. Resistance Training in youth: laying the foundation for injury prevention and physical literacy. *Sports Health* 9(5):436–443, 2017.
 - 10 Faigenbaum AD, Myer GD. Resistance training among young athletes: Safety, efficacy and injury prevention effects. *Br J Sports Med* 44:56–63, 2010.
 - 11 Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, et al. Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. High-load resistance training: A systematic review and meta-analysis. *J Strength Cond Res* 31: 3508–3523, 2017.
 - 12 Lesinski M, Prieske O, Granacher U. Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 50: 781–795, 2016.
 - 13 Paszkewicz J, Webb T, Waters B, et al. The effectiveness of injury-prevention programs in reducing the incidence of anterior cruciate ligament sprains in adolescent athletes. *J Sport Rehabil* 21(4):371–377, 2012.
 - 14 Rønnestad BR, Mujika I. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scand J Med Sci Sports* 24:603–612, 2014.
 - 15 Simenz CJ, Ebben WP, Dugan CA, et al. Strength and conditioning practices of national basketball association strength and conditioning coaches. *J Strength Cond Res* 19(3):495–504, 2005.
 - 16 Theses G, Powers J. Scholar commons a survey of ncaa division 1 strength and conditioning coaches-characteristics and opinions. *Scholar Commons*. 2017.
 - 17 David LD, Thomas JP, Jeremy TB. A survey of the scientific data and training methods utilized by collegiate strength and conditioning coaches. *J strength Cond Res* 17(2):368-73, 2003.
 - 18 Krzysztofik M, Wilk M, Wojdała G, et al. Maximizing muscle hypertrophy: a systematic review of advanced resistance training techniques and methods. *Int J Environ Res Public Health* 16(4): 4897, 2019.
 - 19 Grgic J, Schoenfeld BJ, Latella C. Resistance training frequency and skeletal muscle hypertrophy: A review of available evidence. *J Sci Med Sport* 22: 361–70, 2019.

- 20 Schoenfeld BJ, Ogborn D, Krieger JW. Effects of resistance training frequency on measures of muscle hypertrophy: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 46:1689–1697, 2020.
- 21 *Essentials of Strength Training and Conditioning 4th Edition – Human Kinetics*
- 22 Chaabene H, Behm DG, Negra Y, et al. Acute effects of static stretching on muscle strength and power: An attempt to clarify previous caveats. *Front Physiol* 10:1468, 2019
- 23 Pickering Rodriguez EC, Watsford ML et al. The relationship between lower body stiffness and injury incidence in female netballers. *Sport Biomech* 16(3):361–73, 2017.
- 24 Ekstrand J, Gillquist J. The avoidability of soccer injuries. *Int J Sports Med* 4(2):124–128, 1983.
- 25 Watsford ML, Murphy AJ, McLachlan KA, et al. A prospective study of the relationship between lower body stiffness and hamstring injury in professional Australian rules footballers. *Am J Sports Med* 38(10):2058–2064, 2010.
- 26 Butler RJ, Crowell HP, Davis IM. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 18(6):511–517, 2003.
- 27 Hennig EM, Lafortune MA. Relationships between Ground Reaction Force and Tibial Bone Acceleration Parameters. *Int J Sport Biomech* 7(3):303–309, 1991.
- 28 Grimston SK, Engsberg JR, Kloiber R, et al. Bone mass, external loads, and stress fracture in female runners. *Int J Sport Biomech* 7(3):293–302, 1991.
- 29 Morse CI, Degens H, Seynnes OR, Maganaris CN, Jones DA. The acute effect of stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit. *J Physiol* 586(1):97–106, 2008.
- 30 Kataura S, Suzuki S, Matsuo S, et al. Acute effects of the different intensity of static stretching on flexibility and isometric muscle force. *J strength Cond Res* 31(12):3403–3410, 2017.
- 31 Mizuno T. Changes in joint range of motion and muscle-tendon unit stiffness after varying amounts of dynamic stretching. *J Sports Sci* 35(21):2157–2163, 2017.
- 32 Iwata M, Yamamoto A, Matsuo S, et al. Dynamic stretching has sustained effects on range of motion and passive stiffness of the hamstring muscles. *J Sport Sci Med* 18(1):13–20, 2019.
- 33 Matsuo S, Iwata M, Miyazaki M, et al. Changes in flexibility and force are not different after static versus dynamic stretching. *Sports Med Int Open* 23:3(3):89-95, 2019.
- 34 Kiani A, Hellquist E, Ahlqvist K, et al. Prevention of soccer-related knee injuries in teenaged girls. *Arch Intern Med* 170(1):43–49, 2010.
- 35 Manoel ME, Harris-Love MO, Danoff JV, et al. Acute effects of static, dynamic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle power in women. *J strength Cond Res* 22(5):1528–1534, 2008.
- 36 Yamaguchi T, Ishii K, Yamanaka M, et al. Acute effects of dynamic stretching exercise on power output during concentric dynamic constant external resistance leg extension. *J Strength Cond Res* 21(4):1238-1242, 2007.
- 37 Behm DG, Chaouachi A. A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *Eur J Appl Physiol* 111(11):2633–2651, 2011.

『神戸国際大学リハビリテーション研究』編集・投稿規程

(趣旨)

第1条 神戸国際大学リハビリテーション学研究所は、リハビリテーション学研究所規程第3条(4)にもとづく『神戸国際大学リハビリテーション研究(英文書名: Kobe International University Journal of The Institute for Rehabilitation Studies)』以下「本誌」という。)を編集発行するために本規程を制定する。

(編集委員会の設置)

第2条 本誌の発刊に際しては、リハビリテーション学研究所内にリハビリテーション研究編集委員会(以下、「編集委員会」という。)を設置する。

(刊行)

第3条 本誌の編集は、編集委員会の責任のもとで行い、毎年度、原則として1号を刊行する。

(編集委員会)

第4条 編集委員会は、リハビリテーション学研究所長および所長がリハビリテーション学研究所運営委員会の議を経て委嘱する本学リハビリテーション学部専任教員若干名の委員によって構成する。

2. 編集委員の任期は1年とし、再任を妨げない。
3. 編集委員長は所長が兼務し、編集委員会を主宰すると共に本誌の編集を統括する。委員は本誌編集の実務を担当する。

(投稿資格)

第5条 本誌に投稿できる者は、本学の専任教員(有期限雇用の教員を含む)、非常勤教員および本誌編集委員会が寄稿を依頼した者または投稿を認めた者とする。

(投稿承諾書)

第5条の2 著者の論文への責任および著作権譲渡の確認のため、別紙の投稿承諾書に自筆による署名をして投稿論文に添付すること。

(掲載原稿種別)

第6条 原稿は全て未発表のものとし、種類は以下のとおりとする。

- (1) 研究論文
- (2) 症例研究
- (3) 短報
- (4) その他(総説、症例報告、臨床報告、研究・調査報告、紹介など編集委員会で依頼または承認したもの)

(掲載原稿内容)

第7条 本誌に掲載する論文等(研究論文、症例研究、短報、その他等)の内容は、以下のものとする。

- (1) リハビリテーション学研究所におけるプロジェクト研究の成果発表としての論文等
- (2) 自由投稿による個別の論文等
- (3) リハビリテーション学研究所が企画する公開シンポジウム等の記録として本誌で公表することが望ましいと判断される報告・コメント等
- (4) その他、編集委員会が依頼または承認した論文等

(執筆細則)

第8条 論文等の執筆ならびに投稿に関する必要事項については、別に定める。

(査読)

第9条 論文等の掲載の可否は、査読者による査読結果を参考に編集委員会の責任において決定する。

2. 査読に関する必要事項は、別に定める。

(著作権)

第10条 論文等を掲載するに際して、編集委員会は、掲載論文等が第三者の著作権を侵害することがないように留意するとともに、執筆者に対しては著作権侵害の疑いがないことを確認するものとする。

(編集)

第11条 掲載する本誌の号は、編集委員会において決定する。

(校正)

第12条 校正は1回とし、執筆者による校正を原則とする。

(掲載論文等の著作権および転載)

第13条 掲載論文等の著作権は執筆者に帰属する。但し、他に転載する場合はリハビリテーション学研究所の許可を得るとともに、転載論文等にはその旨を明記しなければならない。

(本誌の公開)

第14条 本誌の目次および掲載論文等は、リハビリテーション学研究所のホームページが整備され次第、ホームページ上で公開する。但し、執筆者の許諾がない場合または編集委員会が特別の事情を認めた場合は、公開しないことがある。

(抜刷)

第15条 執筆者に対し、29部（30部印刷のうち1部を研究所にて保管）の抜刷とPDFファイルを贈呈する。なお、執筆者がこれを超えて必要とする場合は、超過部数については執筆者の個人負担とする。

(執筆料)

第16条 執筆者には、原稿執筆料として次に定める額を支給する。

原著論文3万円（源泉所得税別）

その他研究・短報・報告等1万5千円（源泉所得税別）

(その他)

第17条 その他必要な事項については、編集委員会の議を経てリハビリテーション学研究所運営委員会が決定する。

(改廃)

第18条 本規程の改廃は、リハビリテーション学研究所運営委員会およびリハビリテーション学部教授会の議を経て常務理事会の承認を得なければならない。

附則 1. 本規程は2009年6月1日から施行する。

但し、第14条のホームページの公開は、リハビリテーション学研究所のホームページが設置され次第公開することとする。

2. 本規程は2011年10月1日から改正施行する。

3. 本規程は2013年7月1日から改正施行する。

4. 本規程は2015（平成27）年4月1日から改正施行する。

『神戸国際大学リハビリテーション研究』 原稿執筆内規

1. 投稿者の資格

本誌に投稿できる者は、本学の専任教員（有期限雇用の教員を含む）、非常勤教員および本誌編集委員会が寄稿を依頼した者または投稿を認めた者とする。

2. 投稿原稿の種類

- 1) 原稿は、全て未発表のものとする。また、原稿の執筆に際して、執筆者は、剽窃はもとより、日本語または外国語による他の著作物から当該の言語のまま引用、あるいはほかの言語に翻訳して引用する場合であっても、第三者の著作権が侵害されることのないよう、最大限留意しなければならない。
- 2) ヒトが対象である研究はヘルシンキ宣言や疫学研究に関する倫理指針に基づき、また動物が対象である研究は医学生物学的研究に関する国際指針の勧告の趣旨に沿ったものとする。倫理委員会の承認を得た場合は、その旨を本文中に明記する。
- 3) 論文の種類は以下のとおりとする。
 - (1) 研究論文：論理的かつ明確な構想に基づき、自分自身の研究結果をまとめて、ある結論を与えたもの。
 - (2) 症例研究：症例の臨床的問題や治療結果について科学的に研究を行い、考察を行ったもの。
 - (3) 短報：研究の速報・略報として簡潔に記載された短い研究論文。
 - (4) その他：総説、症例報告、臨床報告、研究・調査報告、紹介など編集委員会で依頼または承認したもの。

3. 具備すべき条件

- 1) 原稿はオリジナル1部およびコピー2部（著者頁は不要）を簡易書留等で送付すること。提出論文のコピーは必ず手元に保存すること。また、原稿と一緒にバックアップした電子媒体（フロッピーディスク、CD-R/RW等）にハードコピーしたものも添えて送付すること。
- 2) 規定枚数を超過しないこと。
研究論文、症例研究、その他は、要旨・英文要旨・文献・図表を含んで原則として刷り上り6頁以内（400字詰め原稿用紙32枚）。短報は原則として刷り上り4頁（400字詰め原稿用紙24枚）以内。図表は1個を400字詰め原稿用紙1枚として換算すること。ただし、編集委員会において特に認めた場合はこの限りではない。
- 3) 論文には表紙および著者頁をつける。
 - (1) 和文原稿
表紙には、標題、ランニングタイトル、希望する論文の種類、英文標題、キーワード（3個）、本文ページ数、図表枚数、原稿文字数（図表含む）を記載する。著者頁には、著者名、所属名、英文の著者名と所属名、責任著者連絡先（Emailアドレス含む）を記載する。共著者がいる場合は、共著者名、所属名、英文の共著者名と所属名も記載すること。なお、著者や共著者の所属の表記は、氏名の右肩および所属名の冒頭に¹⁾や²⁾印をつけること。
 - (2) 英文原稿の場合
論文種類、英語の表題、英語の著者名、日本語での表題、日本語での著者名、英語での所属、日本語での所属、ランニングタイトルをこの順に従って書く。なお、著者や共著者の所属の表記は、氏名の右肩および

び所属名の冒頭に¹⁾や²⁾印をつける。英文原稿の場合は、ダブルスペースとし、イタリック体を必要とする場合は、目印にアンダーラインを引く。

- 4) 研究論文、症例研究、短報には和文の要旨(400字程度)をつける。また、研究論文にのみ250語程度の英文抄録をつけること。なお、英文抄録はダブルスペースで書くこと。
- 5) 単位は原則として国際単位系(SI単位)を用いる。長さ:m、質量:kg、時間:s、温度:℃、周波数:Hz等。
- 6) 略語は初出時にフルスペルを記載する。
- 7) 機器名は、「一般名」(会社名、製品名)で表記する。
- 8) 引用文献の表記については、vancouverスタイルに従うこととする。原稿文末に「引用文献」として一括して本文中の出現順に配列する。本文中該当箇所の右肩に、1~4)や3,4)のように記す。

著者名は、筆頭から3名まで、それ以上は他(et al)とし、人名の記載は、姓を先にすることを原則とする。なお雑誌名には日本医学雑誌略表(日本医学図書館協会編)およびIndex Medicusに従うこと。

(1) 雑誌から引用する場合

著者氏名, 表題, 雑誌名巻数(必要であれば号数): 頁 - 頁, 出版年.

但し、英文の著者名および雑誌名の省略を表すピリオド[.]は省くこと。

例 1 O'Boyle CA, McGee H, Hyicky AD, et al. Individual quality of in patients undergoing hip replacement. Lancet 339: 1088-1095, 1992.

2 浅川康吉, 高橋龍太郎, 青木信雄, 他. 筋力と高齢者のADL一下肢筋力と転倒・ADL障害の関連一. PT ジャーナル 32: 933-937, 1998.

(2) 単行本から引用する場合

著者氏名, 表題, 編者名, 書名(引用箇所), 発行地, 発行所, 引用頁, 出版年.

例 1 藤原勝夫. 高齢者の動作様式. 藤原勝夫, 碓井外幸, 立野勝彦(編), 身体機能の老化と運動訓練(リハビリテーションから健康増進まで), 東京, 日本出版サービス, pp146-147, 1996.

2 Hart E & Bond M. Action research for health and social care. A guide to practice, Buckingham, Open University Press, pp36-77, 1995.

(3) Web ページの場合

著者氏名, 表題, 掲載(更新)年月日[引用日]. URL.

例 厚生労働省. 平成12年度人口動態職業・産業別統計(人口動態統計特殊報告).

2009年4月16日. <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/tokusyu/00jdss/index.html>

- 9) 図は白色紙に記載し、線画の太さを1mm以下の線とする。写真は原寸印刷が可能なように、横は8cmまたは16cmのいずれか、縦は9cm以下の大きさとする。図と写真はあわせて通し番号とし、表題および説明はそれぞれの下に記載する。
- 10) 図(写真を含む)・表の挿入位置は本文の右欄外に支持する。
- 11) 原稿には、表紙を含めページ数を必ず記入する。
- 12) 英文抄録は、原則としてネイティブ・スピーカーの校閲を著者自身の責任で受けること。

4. 原稿の採択

原稿の採択は編集委員会において決定する。査読の結果、編集方針に従って原稿の一部変更をお願いすることがある。また、編集委員会の責任において字句の訂正をすることがある。(以下省略)

「神戸国際大学リハビリテーション研究」投稿承諾書

下記の論文を神戸国際大学リハビリテーション学研究所「神戸国際大学リハビリテーション研究」へ投稿します。本論文は、他誌に掲載済みあるいは掲載予定のものはありません。また「神戸国際大学リハビリテーション研究」に掲載後の本論文の著作権は、神戸国際大学リハビリテーション学研究所に帰属し、電子媒体を問わず公開方法について、その権利を委譲することを了承いたします。

また、共著者がいる場合は、共著者として本論文内容に責任を持ち、同意していることを確認いたします。
(リハビリテーション研究 第 号)

論文題目： _____

筆頭著者

< 氏 名 > < 所 属 >

共著者

< 氏 名 > < 所 属 >

年 月 日 提出

リハビリテーション学研究所2021年度活動報告

◇会議

▽リハビリテーション学研究所運営委員会

- 第1回 2021年7月1日（木）
- 第2回 2021年8月19日（木）（持ち回り）
- 第3回 2021年10月4日（月）（持ち回り）
- 第4回 2021年10月7日（木）（持ち回り）
- 第5回 2021年11月8日（月）（持ち回り）
- 第6回 2021年12月9日（木）
- 第7回 2022年2月15日（火）（持ち回り）
- 第8回 2022年3月3日（木）（持ち回り）
- 第9回 2022年3月7日（月）（持ち回り）

◇ プロジェクト（2021年4月1日～2022年3月31日）

▽ プロジェクト XIV 「新たなウォームアッププログラムに関する研究」

代表者 中西亮介

構成員 武内孝祐、中越竜馬

【概要】

我々は昨年までに若年者を対象に神経筋電気刺激を用いた筋出力の増強効果を明らかにしてきた。本年度は高齢者を対象に神経筋電気刺激を行い筋出力の変化に着目して解析を行ったが、若年者同様の筋出力の向上は認めなかった。

【研究の方法】

対象

地域在住高齢者

測定項目

膝伸展筋力

測定機器

トルクマシーン（HUMAC NORM 社製 CYBEX）

刺激強度

疼痛を感じない最大強度を5秒間

実施プロトコル

1. トルクマシンの用いて筋力およびRFDを測定。
2. 神経筋電気刺激を大腿四頭筋の筋腹に施行。
3. トルクマシンの用いて筋力およびRFDを測定。

【成果】

神経筋電気刺激を施行することで筋力、RFDともに増加は認められなかった。

本結果は加齢に伴い神経および筋線維が外的刺激からの反応性低下を表している可能性が示唆された。今後は高齢者に対して強度の増加や刺激時間の増加を検討し、効果的なウォームアッププログラムの構築を目指したいと考える。

◇ 2021年度リハビリテーション学研究所運営委員

所 長	友枝 美樹	委 員	武内 孝祐
委 員	上杉 雅之	室 長	亀高 昭子（2021年9月まで）
委 員	岩瀬 弘明	室 長	木村 憲幸（2021年10月より）
委 員	南場 芳文	室長補佐	北中 一世

◇ 2021年度「リハビリテーション研究」編集委員

所 長	友枝 美樹
委 員	上杉 雅之、岩瀬 弘明、南場 芳文、武内 孝祐

◇ 刊行物

「神戸国際大学リハビリテーション研究」第13号 2022年4月刊行

編集委員長 友枝 美樹

編 集 委 員 上杉 雅之、岩瀬 弘明、南場 芳文、武内 孝祐

神戸国際大学リハビリテーション研究 第13号

発行日 2022年（令和4年）4月1日
発行者 神戸国際大学リハビリテーション学研究所
〒658-0032 兵庫県神戸市東灘区向洋町中9丁目1番6
印刷所 交友印刷株式会社
〒650-0047 神戸市中央区港島南町5丁目4番5

Kobe International University
Journal of The Institute for Rehabilitation Studies

No.13 April 2022

The Institute for Rehabilitation Studies
Kobe International University
(St. Michael's University)