

氏名（本籍）	小林 雅明（茨城県）
学位の種類	博士（保健医療科学）
学位記番号	博甲第 58 号
学位授与年月日	令和 7 年 3 月 14 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	保健医療科学研究科
学位論文題目	複数胸壁振動刺激が誘発する肋間筋の反射応答と脊髄損傷者への臨床応用に向けた基礎的検証

学位審査委員

主査	茨城県立医療大学教授	博士（心身障害学）	水上 昌文
	茨城県立医療大学教授	博士（医学）	河野 豊
	茨城県立医療大学准教授	博士（ヒューマン・ケア科学）	松田 智行
	埼玉県立大学准教授	博士（工学）	木戸 聡史

論文の内容の要旨

肋間筋を振動刺激することで、緊張性振動反射(TVR)が生じ換気量が増大すると報告された。TVR を利用し、脊髄損傷など肋間筋麻痺患者の呼吸リハビリテーションにおける補助機器として臨床応用が期待されるが、課題が残る。振動刺激強度・振動刺激部位・脊髄損傷者における効果を検証することで、臨床応用に向けた胸壁振動刺激の基礎的知見が得られると考えた。

そこで本研究では、健常者を対象に振動刺激の至適周波数と複数の胸壁振動刺激における肋間筋筋電図(EMG)と換気量の変化を明らかにし、頸髄損傷者を対象に複数の胸壁振動刺激の効果を検証するために以下の 3 つの研究を実施した。

なお倫理審査は、茨城県立医療大学倫理委員会による承認を得た(第 1 研究：e445、第 2 研究：e399、第 3 研究：1153)。

第 1 研究では健常男性 10 名を対象に、安静呼吸中の吸息時に第 2 肋間筋・呼息時に第 7 肋間筋へ振動刺激を行った。6 種類の課題(15・50・75・100・110・120Hz)を無作為に行い、換気量と肋間筋 EMG の測定を行った。肋間筋 EMG は、二乗平均平方根(RMS)を算出し、最大随意収縮(MVC)の RMS で除した百分率とした(%MVC)。

その結果、各課題で有意な主効果を認めた。1 回換気量(V_T)と第 2・7 肋間筋%MVC は、15Hz から 100Hz まで有意に増加し、100Hz が最も大きな値であった。100Hz 程度の周波数が最も TVR が誘発できることを示唆する報告が多く、本研究においても同様の結果であった。

第2研究では健常男性20名を対象に、安静呼吸に合わせて肋間筋へ振動刺激を行った。2ヵ所刺激・4ヵ所刺激・Control刺激を無作為に行い、換気量と肋間筋EMGを測定した。肋間筋EMGは、%MVCとして算出した。

その結果、刺激で有意な主効果を認めた。4ヵ所刺激は、Control・2ヵ所刺激と比し、 V_T および振動刺激直下の第2・4と第7・9肋間筋%MVCが有意に増加した($p<0.05$)。さらに、振動刺激直下に隣接した第3・8肋間筋%MVCは、Control・2ヵ所刺激と比し、4ヵ所刺激が有意に増加した($p<0.05$)。複数の肋間筋へ振動刺激を与えることで、振動周波数が隣接の肋間筋へ波及して効果的にTVRを誘発することを検証した。

第3研究では、頸髄損傷と診断された男性5名を対象に、振動刺激併用課題として、深呼吸に合わせて吸息時に第2・4肋間筋、呼息時に第7・9肋間筋へ振動刺激を行った。実験時、換気量と肋間筋EMGを測定した。肋間筋EMGは安静呼吸時からの変化率で算出した(%肋間筋EMG)。統計学的処理は、第1研究は刺激周波数を、第2研究は振動刺激部位を独立変数に設定し、測定項目を線形混合モデルによる一元配置分散分析を実施した。有意差が得られた項目はBonferroni法による多重比較検定を行った。第3研究は、測定項目を対応のあるt検定で比較した。換気量の変化量と肋間筋EMGの変化量は、ピアソンの相関係数で分析した。

その結果、完全・不全頸髄損傷者の%第2・4肋間筋EMGは、深呼吸のみ課題と比し、振動刺激併用課題で有意に増加した($p<0.05$)。不全頸髄損傷者の%第7・9肋間筋EMGは、深呼吸のみ課題と比し、振動刺激併用課題で有意に増加した($p<0.05$)。完全・不全頸髄損傷者の V_T は、振動刺激併用課題で有意に増加した($p<0.05$)。%第1-4肋間筋EMGと V_T は、中等度の正の相関関係であった($r=0.559$, $p<0.05$)。%第6-9肋間筋EMGと V_T は、弱い正の相関関係であった($r=0.295$, $p<0.05$)。頸髄損傷者へ胸壁振動刺激を与えることで、肋間筋EMGが増加し、換気量が増加した。完全頸髄損傷者は、不全頸髄損傷者と比し、振動刺激による呼息性肋間筋EMGの増加量が低値であった。

今後は臨床応用に向けて、脊髄損傷者の肋間筋へ一定期間の振動刺激介入を行い、肋間筋EMGを促進させることで、呼吸機能改善に寄与できるか長期的効果の検証を行う必要がある。

以上より、複数の胸壁振動刺激は、頸髄損傷者のTVRを効果的に誘発し、肋間筋EMGと換気量を即時的に増加させた。胸壁振動刺激が、脊髄損傷の呼吸器合併症に伴う人工呼吸器の離脱目的や呼吸機能改善目的に用いるなど、臨床応用の可能性を広げる基礎的知見が得られた。

審査の結果の要旨

本論文の審査は、令和7年1月24日に公開の場における研究発表と質疑応答を行った後に、上記の審査員4名による協議により行われた。論文審査は、本研究科の指針に従い、

創造性・新規性、専門領域の関連性とインパクト、論理性、信頼性・妥当性、論文の表現力、倫理的配慮の観点から行われた。以下に、各観点に関する協議内容の要旨を述べる。

創造性・新規性について、本研究は機能的な振動刺激の臨床応用に向けた生理学的な基礎から臨床でのデータを含めた研究であり、複数胸壁刺激による肋間筋活動と換気量への影響を解析したものであり、頸髄損傷者への応用可能性までを論じていることから、新規性は高く評価された。特に複数部位の刺激に着目した点は独自の点であり、刺激強度や刺激部位などについても丁寧に検証されている点も評価された。

専門領域の関連性とインパクトの面では、専門領域における呼吸リハビリテーションへの応用可能性を示すことができたことは、臨床応用の面からもインパクトが大きく、頸髄損傷者に対する呼吸理学療法に大きく貢献する成果を示した点が高く評価された。

論理性では、背景から先行研究をふまえて課題整理が丁寧に行われている点。課題解決に向けての基礎的な研究から、臨床的な応用まで一貫して丁寧に結論を導きだすことができている点、およびこれに対する考察も論理的に述べられている点が高く評価された。

信頼性・妥当性では、得られたデータは適切な統計処理がなされており、十分な信頼性と客観性が担保されている。また一部受傷からの長期間経過している症例もあるため、結果の解釈については丁寧な検討が必要との指摘もあった。

論文の表現力では、全体を通じて文章表現は明確で簡潔であり、結果の図表やデータの提示もわかりやすく、研究成果を理解しやすい体裁が整っている。プレゼンテーションも明快であり、図表も内容を理解しやすいよう工夫されている点が評価された。

倫理的配慮は、倫理審査の承認が明記されており、必要な倫理的配慮がなされていた。また実施にあたっては日本リハビリテーション医学会のガイドラインに基づき実施されていた。

以上より、本論文は複数胸壁振動刺激の臨床応用に向けて、基礎的検証に加えて、探索的な臨床データも提示されたものであり、新規性、論理性、論文の表現力の面で高評価であった。頸髄損傷者に対する呼吸リハビリテーションの新たなツールになり得る可能性を示すことができた点には大きな価値があり、今後の機器開発や実用化の出発点となり得る成果であることから意義のある研究であり、博士の学位取得に値する論文であると判断された。