

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：31202

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H01709

研究課題名(和文) 乗馬運動が脳神経 筋系メカニズムに与える効果と肢体不自由改善運動プログラムの創生

研究課題名(英文) Creation of exercise program relation to horse-back riding therapy for physically handicapped person

研究代表者

金子 賢一 (KANEKO, Kenichi)

富士大学・経済・経営システム研究科・教授

研究者番号：50337177

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,800,000円

研究成果の概要(和文)：研究成果の概要は以下のとおり。(1)光トポグラフィーによる研究：重度の脳性麻痺のある児童でも乗馬運動に関連する視聴覚刺激により、脳活動は活性化される。(2)筋電図と加速度による研究：脳性麻痺により肢体不自由を伴う児童においても乗馬運動を継続的に実施することで、体幹の筋力が経時的に増加し、乗馬に伴う外乱に対応する運動能力は向上する。脳性麻痺児では体幹の筋力の発達が遅いことを補うため、上肢の活動を活発化させる姿勢戦略を取ることがわかった。(3)粗大運動能力の評価：4年間の研究期間を通じて、被験者の粗大運動能力は定性的に向上したと評価できた。体幹の安定性が強く影響していると推察された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

特別支援学校や特別支援学級に在籍する幼児児童生徒数は14万人を超え、増加の一途をたどっている。中でも、肢体不自由のある幼児児童生徒は知的障害のある者に次いで第2番目に多く在籍しているにもかかわらず、特別支援高等部卒業後の就職率はわずか5.1%と、他の障害のある者と比べ著しく低い値となっている。肢体不自由という障害が社会参加や自立活動を困難にさせている実態が浮き彫りとなっている。本研究では、乗馬運動が肢体不自由のある生徒・児童に対して粗大運動能力を向上させる有効な運動プログラムであることを、長期間の脳・筋系システムの経時的变化を科学的に追跡することで明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The study results are as follows:

Brain Function Evaluation Using Optical Topography: Brain activity was activated by horseback riding-related audiovisual stimuli, even in children with severe cerebral palsy.  
Evaluation Using EMG and Acceleration: Continuous horseback riding exercise over time increased trunk muscle strength and improved the ability to respond to disturbances associated with riding in children with physical disabilities due to cerebral palsy. Children with cerebral palsy often compensate for delayed trunk muscle strength development by activating upper limb activities.  
Improvement in Gross Motor Skills: Over the four-year study period, the gross motor skills of the two subjects improved, indicating the significant role of trunk stability. Benefits of Horseback Riding: Compared to other resistance training exercises, horseback riding is enjoyable and sustainable for both the subjects and their guardians.

研究分野：福祉工学

キーワード：乗馬運動 肢体不自由 脳性麻痺 光トポグラフィー 筋電図 重心動揺

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

特別支援学校や特別支援学級に在籍する幼児児童生徒数は14万人を超え、増加の一途をたどっている。中でも、肢体不自由のある幼児児童生徒は知的障害のある者に次いで第2番目に多く在籍しているにもかかわらず、特別支援高等部卒業後の就職率はわずか5.1%と、他の障害のある者と比べ著しく低い値となっている。肢体不自由という障害が社会参加や自立活動を非常に困難にさせている実態が浮き彫りとなっている。特別支援学校では障害の程度に応じ、「変形・拘縮の予防と軽減」、「緊張のコントロール」、「姿勢の取り方」等の自立活動教育を実践したり、それらを各教科と関連付けて行うなど、さまざまな工夫を凝らした肢体不自由教育がなされているが、いずれも効果は限定的である。肢体不自由のある者の社会参加を促進するために、肢体不自由を改善させる新たな運動教育プログラムの開発が強く求められている。

こうした中、海外では肢体不自由のある児童への運動教育プログラムとして、乗馬が取り入れられている。乗馬によって作り出される他動的な骨盤の動きは健常歩行時の骨盤の動きと類似することが理論的背景となり、脳や脊椎に障害がある肢体不自由児が行う乗馬運動に姿勢制御や体幹安定性を改善させる効果が実証されつつある。しかし、科学的エビデンスに乏しいのが現状であり、乗馬の肢体不自由改善効果を定量的に評価する手法は確立されていない。一方、日本では心理的リハビリテーションやレクリエーションを目的とした乗馬は見られるが、肢体不自由を積極的に改善するための運動プログラムとして乗馬を活用するには至っていない。

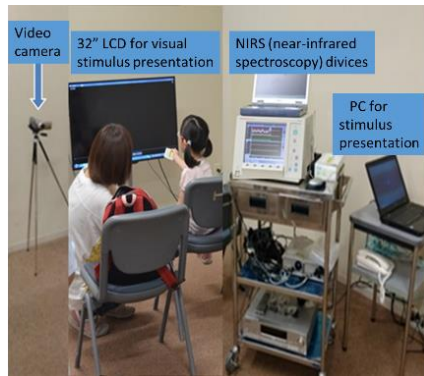
### 2. 研究の目的

本研究は肢体不自由のある児童に対して行う運動教育プログラムの開発を目的とし、未だエビデンスの少ない乗馬運動が肢体不自由を積極的に改善させる運動プログラムとして有効なのか明らかにする。乗馬運動の効果を脳・神経・筋メカニズムに基づいて定量的に評価する方法を構築し、乗馬運動を自立活動運動プログラムに昇華させる。以下の2点を具体的な目的とする。

- (1) 重度の脳性麻痺のある児童でも乗馬運動に伴う感覚刺激や他動的な運動刺激により、脳活動を活性化させることができるのか明らかにする。幼少期より乗馬運動トレーニングに定期的に取り組んでいる超低体重出生児(ELBWI)で重度の脳性麻痺(CP)がある児童2名に継続的に実験に協力してもらい、光トポグラフィーを用いて脳活動を評価する。
- (2) 乗馬運動に伴う体幹の筋活動と重心動揺を計測し、乗馬による腰部と頸部の筋活動の関係を分析することで姿勢制御能力を評価する。4年間の研究期間での長期的な姿勢戦略の変化を追跡する。粗大運動能力を乗馬運動実験時に測定し、加えて、保護者から日常生活の実態について聞き取り調査を行うことで乗馬運動が重度の肢体不自由のある児童の日常生活改善に効果があるのか定量的に検証する。

### 3. 研究の方法

- (1) 脳性麻痺のある児童の乗馬運動に関連する感覚刺激および運動刺激による脳活動の検証  
幼少期より毎週1回、約20~30分程度の乗馬運動トレーニングを継続している2名のELBWIでCPのある児童を研究対象とする。乗馬に関連する視聴覚刺激を実験室で呈示(図1a)した時と、乗馬運動を他動的な運動刺激としてフィールドで呈示(図1b)した時の大脳前頭葉部位の酸化ヘモグロビン( $O_2Hb$ )濃度の上昇率を評価した(図2)。コントロールとして同年齢の健常児2名についても測定し、CPのある児童と健常児で、感覚刺激および運動刺激に伴う $O_2Hb$ 濃度の第六次近似曲線の微分により瞬間的な変化量を検討した。
- (2) 脳性麻痺に伴う重度に肢体不自由のある児童の乗馬運動中の姿勢制御の評価  
乗馬運動中の姿勢制御を評価するために、腰部および頸部の計8か所から表面筋電図(SEMG)を計測し、SEMG信号のRoot Mean Square value(RMS)を尺度として筋活動を評価した。8ch全体の総RMS値に対する腰部(計4ch)と頸部(計4ch)のRMS値の割合(%RMS)を算出した。さらに、得られたSEMGに対して信号解析手法の一つである離散ウェーブレット変換を適用し、筋活動をSEMGの周波数特性から評価した。それぞれの評価尺度を用い、ELBWIでCPのある児童の乗馬運動における筋活動の特徴を分析した。2名のコントロールの児童から得られたデータにも同様の分析を行い比較することで、体幹の筋力が未発達なCPのある児童の乗馬運動時における姿勢戦略の特徴を評価した。
- (3) 乗馬運動が肢体不自由のある児童の粗大運動能力改善に与える効果の分析  
ELBWIでCPのある同一の被験者に対して、おおよそ3か月ごとに実施する乗馬運動実験(光トポグラフィー、筋電図、加速度実験)の際に、併せて、粗大運動能力を調査した。調査は本研究期間の4年間に渡って実施した。コミュニケーションを取ることが難しい被験者に対しては、保護者から継続的に行っている乗馬運動トレーニングに対する被験者のモチベーションや日常生活上の困難となる場面、使用している装具の変化等を聴取した。上記(1)および、(2)から得られた結果と粗大運動能力の経時的変化とを横断的に分析することで、CPによる重度の肢体不自由のある児童の粗大運動能力改善に果たす乗馬運動の効果を評価した。

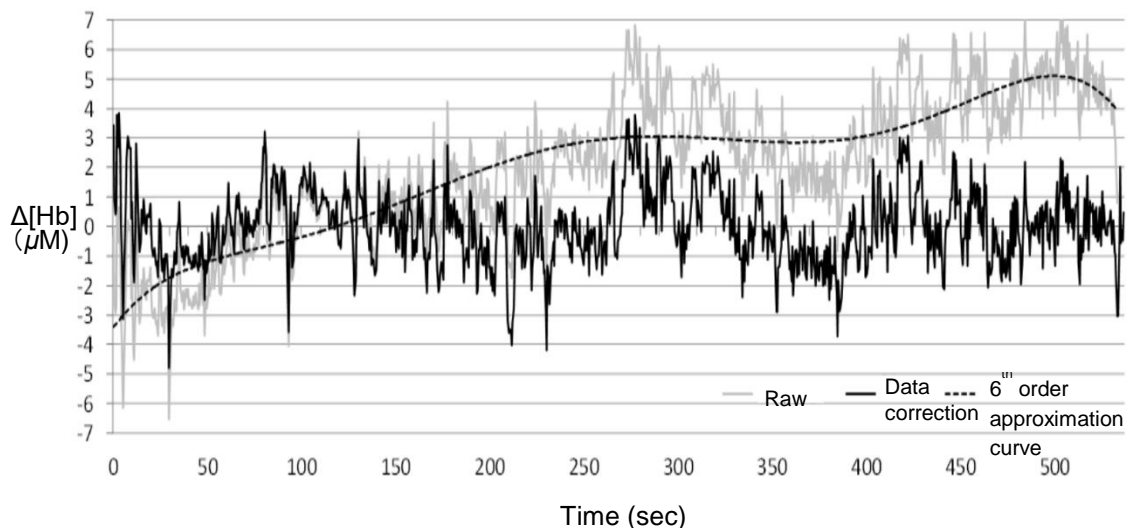


(a) 視聴覚刺激の提示  
【実験室実験】

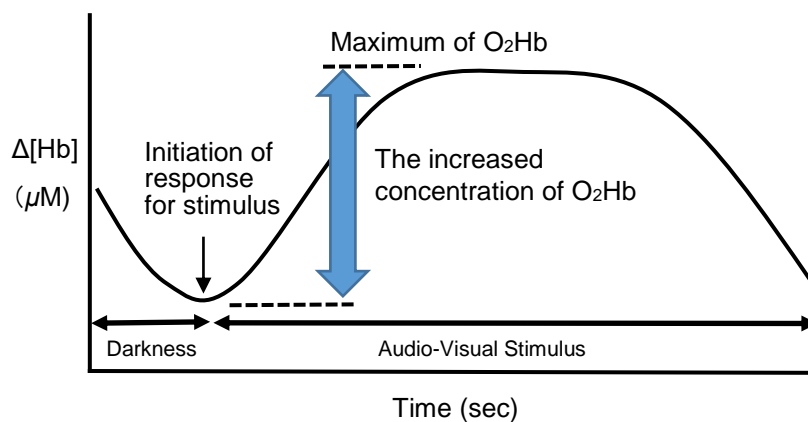


(b) 外的な運動刺激としての乗馬運動  
【フィールド実験】

図 1 光トポグラフィーによる脳機能評価の実験の様子： 実験室実験では固定式の NIRS を使用し、乗馬に関連する 18 セットの視聴覚刺激をモニターおよび、スピーカーから曝露した。フィールド実験では無線の NIRS を乗馬用ヘルメットに刺入して使用した。乗馬運動は Animal assisted therapy (AAT) の認定を受けている施設で行い、専門の資格を有するリーダーおよび、サイドウォーカーと共に実施した。



(a)  $O_2Hb$  濃度変化の時系列的な変動例



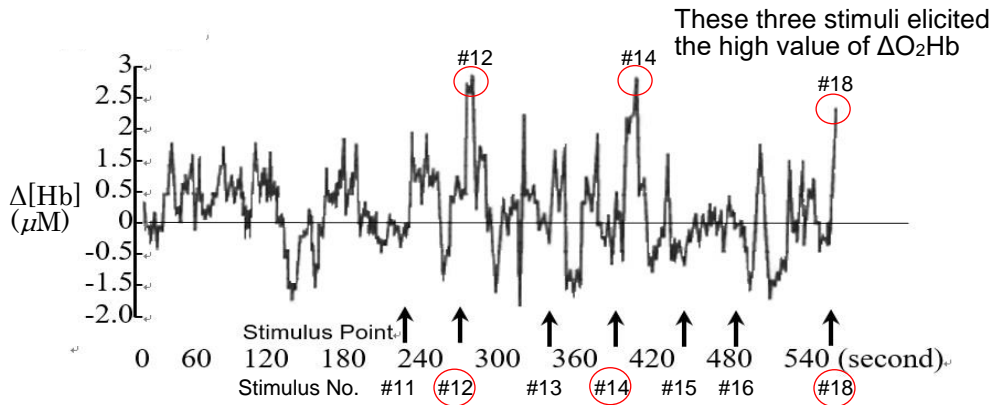
(b)  $O_2Hb$  濃度変化の評価尺度

図 2 大脳前頭葉部位の酸化ヘモグロビン ( $O_2Hb$ ) 濃度の変化率：感覚刺激および他動的な運動刺激に対する脳活動の活性化の様態を評価するために、NIRS を用いて前頭葉部位から  $O_2Hb$  濃度の変化率を計測した。刺激に対する反応としての  $O_2Hb$  の上昇率を第六次近似曲線から算出し、ELBWI で CP のある児童と健常児とで比較した。

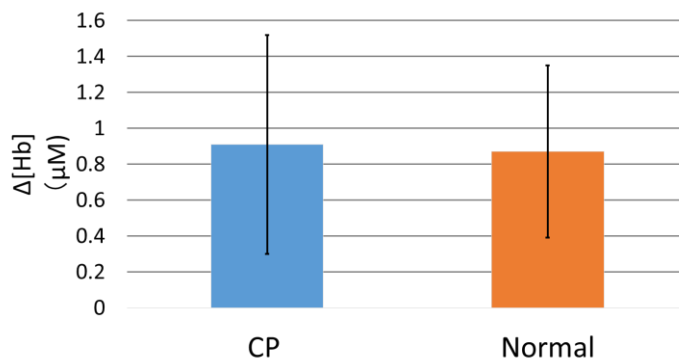
#### 4. 研究成果

##### (1) 脳性麻痺のある児童の乗馬運動に関連する感覚刺激および運動刺激による脳活動の検証

ELBWI で CP のある児童 2 名について、日ごろから興味関心を持ち積極的に行っている乗馬運動に関連する視聴覚刺激を呈示し、刺激呈示後の  $O_2Hb$  の濃度変化を測定した。図 3 に示す通り、#12、#14、および、#18 の特定の刺激に対して明確な  $O_2Hb$  の濃度上昇が認められた。視聴覚刺激暴露に対する反応として脳活動が活性化の様態を確認した。さらに、他動的な運動刺激として乗馬運動を課し、乗馬前、乗馬中、乗馬後の  $O_2Hb$  の濃度変化を計測し健常な児童と比較を行った。その結果、CP があり重度の肢体不自由のある児童であっても、乗馬運動中には前頭葉部位での  $O_2Hb$  濃度が上昇することが判明した。健常な児童の乗馬運動に伴う  $O_2Hb$  濃度上昇率と比較しても統計的有意差は認められず、乗馬運動による  $O_2Hb$  濃度の高い上昇を確認した。



(a) 乗馬運動に関連する様々な刺激 (#1 から #18) に対する  $O_2Hb$  濃度変化 (実験時間は 550 秒で、18 の異なる視聴覚刺激を呈示した)



(b) 乗馬運動に伴う  $\Delta O_2Hb$  の平均値の比較

図 3 視聴覚刺激および、運動刺激に対する  $O_2Hb$  濃度の変化：視聴覚刺激は、特に、#12(知人の乗馬映像)、#14(乗馬時の視線映像)、#18(乗馬時の音と視線映像)に対する  $O_2Hb$  濃度の変化率が高かった。乗馬運動に伴う  $O_2Hb$  濃度の変化率は重度の CP で肢体不自由がある児童と健常児とで統計的な有意差は認められなかった。乗馬運動により、CP のある児童は健常児と同様に大脳前頭葉部位が活性化された。

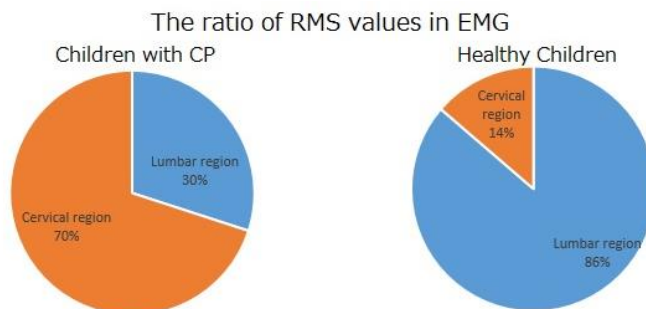
##### (2) 脳性麻痺に伴う重度に肢体不自由のある児童の乗馬運動中の姿勢制御の評価

ELBWI で CP があり肢体不自由のある児童 2 名と健常な児童 2 名の乗馬運動中の SEMG を腰部及び、頸部の 8 か所の筋群から計測し、被験者グループごとに比較を行った。得られた SEMG 信号の RMS 値を尺度として筋活動を評価した。8 ch 全体の RMS 値に対する腰部 (計 4ch) と頸部 (計 4ch) の RMS 値の割合 (%RMS) を算出し、筋活動の特徴を分析した。その結果、健常な児童では乗馬運動中の筋活動は約 90% が腰部の活動で占められているのに対し、肢体不自由のある児童では腰部の筋活動はおおよそ 30% に留まった (図 4a)。乗馬運動中の上肢の動きを 3 次元モーションキャプチャシステム (XSENS Movella) により計測し、動揺図から動揺面積を分析した所 (図 4b)、肢体不自由のある児童の方が有意に動揺が大きいことが判明した。肢体不自由のある児童では、他動的な乗馬運動に対し健常児よりも上肢を大きく動揺させながらも、主に、頸部の筋活動により姿勢制御を行っている様態が判明した。SEMG の腰部と頸部の %RMS の値および、上肢の動揺図の面積は、乗馬運動トレーニングの効果を評価する尺度として有効であることが示唆された。乗馬運動トレーニングで体幹の筋活動が促され、姿勢制御のための中心的な筋活動が頸部から体幹筋群へシフトしていくことが、肢体不自由を改善する一つの方向性であるかもしれない。

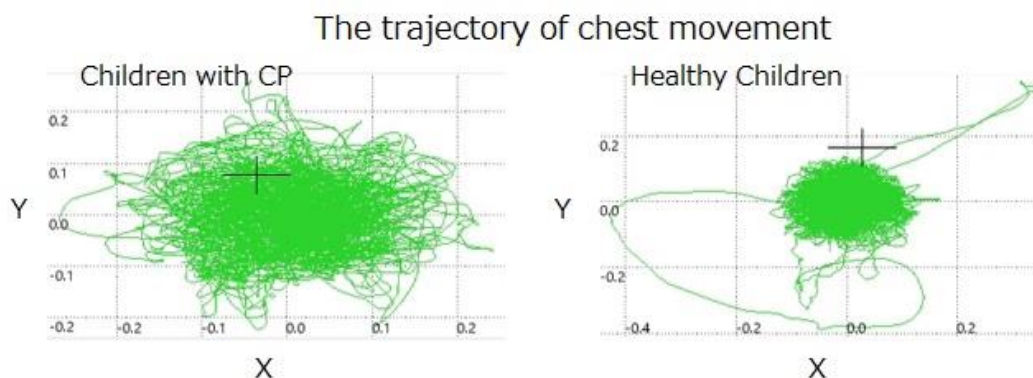
さらに、実験によって得られた SEMG 信号に離散ウェーブレット変換を適用することで筋



活動のパワー値と周波数帯域を推定し、乗馬運動時の筋活動を評価した。得られた 450-20Hz の周波数帯域を持つ SEMG 信号を 3つの周波数帯域に分け、高周波数帯域側からそれぞれを、速筋繊維、速筋繊維・遅筋繊維の混合、および、遅筋繊維の活動に由来するという仮説のもと、腰部と頸部、および、肢体不自由のある児童と健常児とで割合の比較を行った。その結果、腰部の筋活動においては、肢体不自由のある児童の方が健常児よりも全体のパワー値に対する高周波数帯域の活動の割合が大きく、逆に、健常児では肢体不自由のある児童よりも低周波数帯域の活動の割合が大きいことが判明した。一方、頸部では肢体不自由児と健常児とで 3つの帯域共に有意な差は認められなかった。一般的に ELBWI で CP による肢体不自由がある児童は体幹の筋の成長が遅く、筋量も小さいとされるが、本研究結果からは、単に筋量が小さいだけでなく筋の活動様態も健常児と異なっていることが推察された。



(a) 乗馬運動中の腰部と頸部の筋活動の比較 (左は CP のある児童, 右は健常児)



(b) 乗馬運動中の上肢の前後・左右方向の動揺図 (左は CP のある児童, 右は健常児)

図 4 乗馬運動関連する腰部、頸部の筋電図および加速度の分析結果

### (3) 研究成果のまとめ

本研究は、重度の肢体不自由がある児童に対する運動教育プログラムの開発を目的に、乗馬運動が脳・神経-筋メカニズムに与える効果を科学的に解明することをテーマとして実施した。乗馬運動が体幹の安定性や姿勢制御機能に与える効果を評価するため、大脳前頭部位での酸化ヘモグロビン濃度、体幹の表面筋電図について、超低体重出生児で肢体不自由のある 2名の同一被験者から 4年間にわたり継続的に計測・分析を行った。研究成果は以下のとおり。

- ・光トポグラフィーを用いた脳機能の評価研究からは、重度の脳性麻痺のある児童でも乗馬運動に関連する視聴覚刺激と乗馬運動刺激により、脳活動が活性化されることが判明した。
- ・筋電図と加速度を用いた評価研究からは、脳性麻痺により肢体不自由を伴う児童においても乗馬運動を継続的に実施することで、体幹の筋力が経時的に増加し、乗馬に伴う外乱に対応する制御能力が向上することが確認された。脳性麻痺児は体幹の筋力の発達が遅いことを補うため、頸部の活動を活発化させる姿勢戦略を取ることが判明した。
- ・4年間の研究期間を通じて、2名の被験者の粗大運動能力が向上した。体幹の安定性が乗馬運動トレーニングにより向上していることが影響していると推察された。
- ・乗馬運動は他のレジスタンストレーニングと比較して、被験者およびその保護者が楽しみながら継続できる点が大きなメリットである。以上より、乗馬運動は重度の肢体不自由を有する児童に対して、有効な運動教育プログラムであることが示された。特に、脳機能の活性化、体幹の筋力向上、姿勢制御の改善、および、運動能力の向上が確認された。乗馬は楽しみながら継続できる運動であることから、長期的な効果も期待できる。
- ・本研究で得た ELBWI で重度の CP がある児童の乗馬運動に関するデータは大変に貴重であった。暑い中、時には雪の中、実験にご協力いただいた被験者およびその保護者に、心から感謝を申し上げたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kaneko Kenichi, Makabe Hitoshi, Mito Kazuyuki, Sakamoto Kazuyoshi, Kawanori Yoshiya, Yonemoto Kiyoshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Characteristics of Lower Limb Muscle Activity in Elderly Persons After Ergometric Exercise	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Gerontology and Geriatric Medicine	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/2333721420979800	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kaneko Kenichi, Makabe Hitoshi	4. 巻 8
2. 論文標題 Correlation Between Skin Autofluorescence and Muscle Activities of Lower Limb in Aging Without Disease and Disability	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Gerontology and Geriatric Medicine	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/23337214221140225	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Kenichi Kaneko
2. 発表標題 Evaluation of trunk muscles during horseback riding therapy on children with cerebral palsy
3. 学会等名 International Society of Biomechanics XXVIIIth Congress（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hitoshi Makabe
2. 発表標題 Influence of intermittent blocking of visual information on corticomuscular coherence during walking
3. 学会等名 International Society of Biomechanics XXVIIIth Congress（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenichi Kaneko
2. 発表標題 Estimation of horseback riding therapy effects on low-birthweight children. A near-infrared spectroscopy study
3. 学会等名 International Society of Electrophysiology and Kinesiology XXIII ISEK Congress (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hitoshi Makabe
2. 発表標題 Characteristics of stride time interval fluctuations before and after knee arthroplasty
3. 学会等名 International Society of Electrophysiology and Kinesiology XXIII ISEK Congress (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kenichi Kaneko
2. 発表標題 Characteristics of trunk muscle activity in children with cerebral palsy during horseback riding -Multiresolution analysis of SEMG-
3. 学会等名 International Society of Biomechanics XXIXth Congress (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金子 賢一
2. 発表標題 脳性麻痺のある児童の乗馬療法時の筋活動に関する研究
3. 学会等名 日本福祉工学会東北支部会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenichi Kaneko
2. 発表標題 Analysis of Upper Limb Movement during Equine-Assisted Therapy for Super Low-Birthweight Children: Insights from EMG and 3D Motion Analysis
3. 学会等名 International Society of Electrophysiology and Kinesiology XXIV ISEK Congress (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

教員の研究業績等－富士大学 <a href="http://www.fuji-u.ac.jp/overview/jjiko-com">http://www.fuji-u.ac.jp/overview/jjiko-com</a>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	川乗 賀也 (KAWANORI Yoshiya) (20725113)	同朋大学・社会福祉学部・准教授  (33911)	
研究分担者	真壁 寿 (MAKABE Hitoshi) (60363743)	順天堂大学・保健医療学部・教授  (32620)	
研究分担者	米本 清 (YONEMOTO Kiyoshi) (90305277)	岩手県立大学・公私立大学の部局等・名誉教授  (21201)	



6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	水戸 和幸  (MITO Kazuyuki)  (90353325)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授    (12612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関