

令和 3 年 8 月 17 日現在

機関番号：23304

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01496

研究課題名(和文) 予測制御とフィードバック制御の評価に基づいた高齢者の運動機能ナビゲーターシステム

研究課題名(英文) The navigation system for evaluation of motor function in the elderly based on the evaluations of predictive control and feedback control

研究代表者

李 鍾昊 (Lee, Jongho)

公立小松大学・保健医療学部・教授

研究者番号：40425682

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：予測制御とフィードバック制御の評価に基づいて高齢者の上肢の運動制御能力の変化を運動制御の観点から定量的に把握できる「高齢者の運動機能ナビゲーターシステム」を構築した。そして、20歳代の若者から70歳代の高齢者までを対象に「加齢に伴う脳の運動制御メカニズムの変化」を評価した結果、中年の年齢から予測制御が悪くなり、さらに高齢の年齢になるとパーキンソン病の症状であるmicrosteps成分が顕著に増加していることが確認できた。これらの結果は、我々の構築した「高齢者の運動機能ナビゲーターシステム」を用いて「加齢に伴い小脳の予測制御の低下や大脳基底核の機能低下」を定量的に分析できることを示している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々の研究は、人間の運動制御メカニズムに対して「人間の運動は予測制御とフィードバック制御によって行われるし、加齢と共にこの2つの運動制御器の精度や割合が変わって行く」ことを実験的に検証したことに学術的な意義がある。また、我々の研究から構築したデータベースに基づいて高齢者に対する運動機能障害の早期発見や神経疾患の予備群を特定できるシステムとして社会に貢献できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We developed the navigation system for evaluation of motor function in the elderly based on the evaluation of outputs from predictive and feedback (FB) controllers. By using this system, we evaluated the change in motor function with aging from young subjects in their 20s to elderly subjects in their 70s. In particular, We found that the predictive control deteriorated from the middle-aged subjects, and that the component of microsteps, which is a symptom of Parkinson's disease, increased significantly at the elderly subjects. Overall, we found that our proposed system allows us to quantitatively analyze not only the decline in predictive control of the cerebellum but also the functional decline of the basal ganglia with aging.

研究分野：人間医工学

キーワード：老年学 予測制御とフィードバック制御

1. 研究開始当初の背景

高齢者になると運動能力が加齢と共に低下し、日常生活動作の低下や介護者の介護負担を引き起こし、介護保険サービスの利用にいたる原因となる。最近この高齢化社会の負担を減らすために、厚生労働省は高齢者に対する運動器の機能向上マニュアル(大淵修一, 2009)を介護予防プログラムとして導入し、各地域にもそのプログラムに従って高齢者の運動機能評価を行っている。しかし、このプログラムでは下肢によるバランスや歩行能力が主な評価項目になり、転倒と骨折予防など高齢者の移動能力に対する維持・改善に貢献しているが、上肢に関しては握力などの筋力テストしか行っていない。それに対して我々の日常生活動作には上肢による正確な制御が多く占めており、今後高齢者に対する上肢の制御能力を評価できる方法論の確立が必要である。

本研究の代表者はこれまでに指標追跡運動において予測制御器とフィードバック制御器の出力を分離してそれぞれの精度を分析する方法を確立し、この2つの制御器の評価に基づいて小脳変性症の病態やパーキンソン病の投薬前後の効果、さらに脳卒中患者に対する様々な治療やリハビリ効果を定量的に評価してきた。そして、本研究ではこの研究成果を発展させ、若者から高齢者までの各年代に対する運動制御能力を2つの制御器の精度評価に基づいて運動制御の観点から評価することにより、高齢者に対する運動機能障害と神経疾患予備群の早期発見できる「高齢者向け、脳と運動制御に対する健康見守りシステム」を構築することを目指す。

2. 研究の目的

本研究では、高齢者の上肢の運動制御能力と、高齢者に好発する脳の萎縮や神経疾患による運動機能障害を運動制御の観点から定量的に把握できる「高齢者の運動機能ナビゲーターシステム」の構築を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 20歳代の若者から80歳代の高齢者までを対象に2自由度の手首運動による指標追跡運動を行い、異なる周波数領域から予測制御とフィードバック制御の精度を定量化し、加齢に伴う脳の運動制御メカニズムの変化を運動制御の観点から分析する。

(2) パーキンソン病や小脳変性症など、様々な神経疾患の診断前または診断初期の病態を2つの制御器(予測制御とフィードバック制御)の精度評価に基づいて分析し、健常者の各年代と各疾患患者から集めたデータから「高齢者向け運動機能評価用データベース」を作る。

(3) 収集されたデータベースに基づいて高齢者に対する運動制御能力の把握や、加齢に伴う運動制御能力の変化、さらに高齢者に対する運動機能障害の早期発見とシミュレーションによる神経疾患の予備群が特定できる「高齢者の運動機能ナビゲーターシステム」を完成する。

4. 研究成果

(1) 加齢に伴う脳の運動制御メカニズムの変化

研究協力病院である4か所の医療機関の協力を得て20歳代の若者から70歳代の高齢者までを対象に、主にFeedforward制御によって行われているprimary submovementとターゲットとの差(図1参照: distance from target)に基づいてFeedforward制御能力の差を定量的に評価した結果、40歳代から50歳代の中高齢者からFeedforward制御の精度が落ちていることが確認でき、その内容をPlosOne論文誌(Shimoda et al. 2017)に発表した。また、高齢者の運動制御能力を脳からの運動指令を反映する筋電図信号に基づいて分析する新しい分析方法を共同研究として行い、その研究内容を英文雑誌(J. biomechanics (2018))に掲載した。さらに、高齢者に対する膝のリハビリにおいて表面筋電図信号から筋疲労をモニターリングする新しいシステムを提案し、その研究内容をBiomedical Engineering Letters論文誌(2018)に掲載した。

(2) 高齢者に対する運動機能障害の早期発見と評価

高齢者に対する運動機能障害を運動制御観点から早期発見するパラメータとして、脳の代表的運動制御理論である予測制御とフィードバック制御を分離する方法を確立し、その研究内容を英文雑誌(Frontiers in Human Neuroscience (2019))に掲載した。また、高齢者に好発する脳卒中患者の回復過程を筋シナジーの観点から評価できる方法論を確立する共同研究を行い、その研究内容を英文雑誌(International Journal of Precision Engineering and Manufacturing (2019))に掲載した。また、小脳性修復を根拠とする小脳性運動失調に対する新しい治療法を

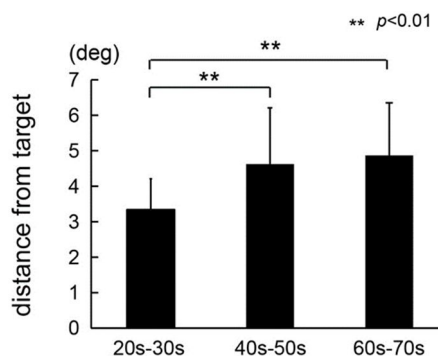


図 1. 加齢に伴う Feedforward 制御能力の変化

確立する研究を行い、その研究内容を英文雑誌(CNS Neurol Disord Drug Targets 論文誌(2018))に掲載した。そして、小脳性修復に関して眼球運動の制御と四肢による随意運動、認知機能の3つの観点から調べる研究を行い、その研究内容を英文雑誌(Cerebellum(2019))に掲載した。

(3) 高齢者に対する運動機能評価システムの開発と分析方法の確立

パソコンの操作に慣れてない高齢者にマニピュランダム装置による画面上のカーソル操作が難しく感じたので、画面上のカーソルを指で直接追跡できるようにから「microsoftのkinectを用いた簡便・安価な運動機能検査システム」の開発を東京農工大学(情報工学科)と共同研究として行い、その研究内容を国内及び国際学会(Neuro2017、Neuroscience 2017、AINI2017)に発表した。また、高齢者の3次元空間上の上肢運動を3次元仮想現実空間で定量的に評価するシステムと方法論を確立する共同研究を行い、その研究内容を英文雑誌(BioMed Research International(2019))に掲載した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 7件／うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Shinji Kakei, Jongho Lee, Hiroshi Mitoma, Hirokazu Tanaka, Mario U Manto, Christiane Susanne Hampe	4. 巻 13
2. 論文標題 Contribution of the Cerebellum to Predictive Motor Control and Its Evaluation in Ataxic Patients	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 216
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnhum.2019.00216	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 該当する
1. 著者名 Hyeonseok Kim, Jongho Lee, Jaehyo Kim	4. 巻 2019
2. 論文標題 Muscle synergy analysis for stroke during two degrees of freedom reaching task on horizontal plane	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Precision Engineering and Manufacturing	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） 10.1007/s12541-019-00251-5	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 該当する
1. 著者名 Woong Choi, Liang Li, Jongho Lee	4. 巻 2019
2. 論文標題 Characteristic of motor control in three-dimensional circular tracking movements during monocular vision	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 BioMed Research International	6. 最初と最後の頁 3867138
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1155/2019/3867138	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 Mitoma H, Buffo A, Gelfo F, Guell X, Fuca E, Kakei S, Lee J, Manto M, Petrosini L, Shaikh AG, Schmahmann JD	4. 巻 19(1)
2. 論文標題 Consensus Paper. Cerebellar Reserve: From Cerebellar Physiology to Cerebellar Disorders	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cerebellum	6. 最初と最後の頁 131-153
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12311-019-01091-9	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 該当する

1. 著者名 Woong Choi#, Jongho Lee#, Liang Li (#: Co-corresponding authors)	4. 巻 10(2)
2. 論文標題 Analysis of Three-Dimensional Circular Tracking Movements Based on Temporo-Spatial Parameters in Polar Coordinates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 applied sciences	6. 最初と最後の頁 621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app10020621	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 寛 慎治, 李 鍾昊, 石川享宏, 田中宏和	4. 巻 37(8)
2. 論文標題 腕運動の小脳制御 予測的制御への小脳の関与	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Clinical Neuroscience	6. 最初と最後の頁 965-968
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kakei S, Ishikawa T, Lee J, Honda T, Hoffman DS.	4. 巻 17(3)
2. 論文標題 Physiological and morphological principles underpinning recruitment of the cerebellar reserve	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 CNS Neurol Disord Drug Targets	6. 最初と最後の頁 184-192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2174/1871527317666180315164429	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Min K, Shin D, Lee J, Kakei S.	4. 巻 72
2. 論文標題 Electromyogram refinement using muscle synergy based regulation of uncertain information	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. biomechanics	6. 最初と最後の頁 125-133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiomech.2018.03.020.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jongho Lee ¶, Hyeonseok Kim ¶ and Jaehyo Kim (¶ : equally contributed co-first)	4. 巻 8(4)
2. 論文標題 Electromyography-signal-based muscle fatigue assessment for knee rehabilitation monitoring systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biomedical Engineering Letters	6. 最初と最後の頁 345-353
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13534-018-0078-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Jongho Lee ¶, Woong Choi ¶, Naoki Yanagihara, Liang Li, and Jaehyo Kim (¶ : equally contributed co-first)	4. 巻 8(1)
2. 論文標題 Development of a quantitative evaluation system for visuo-motor control in three-dimensional virtual reality space	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13439
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-31758-y	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 該当する

1. 著者名 Lee J ¶, Kim J ¶, Kakei S and Kim J. (¶ : equally contributed co-first)	4. 巻 31
2. 論文標題 Motor control characteristics for circular tracking movements of human wrist	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 29-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2016.1266121	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 該当する

1. 著者名 Yuji Matsumoto, Jongho Lee, Takatoshi Baba, Shinji Kakei, Yasuhiro Okada, Hiroshi Ando	4. 巻 32
2. 論文標題 Establishment of a quantitative evaluation of wrist motor function recovery stages in stroke patients: Comparison with the Brunnstrom stages	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Bulletin Of Health Sciences Kobe	6. 最初と最後の頁 45-54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fujiwara Y, Lee J, Ishikawa T, Kakei S, Izawa J	4. 巻 7(1)
2. 論文標題 Diverse coordinate frames on sensorimotor areas in visuomotor transformation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Sci Rep.	6. 最初と最後の頁 14950
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-14579-3	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 Shimoda N, Lee J, Kodama M, Kakei S, Masakado Y	4. 巻 12(11)
2. 論文標題 Quantitative Evaluation of Age-related Decline in Control of Preprogrammed Movement	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PLoS One	6. 最初と最後の頁 e0188657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0188657	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 Kakei S, Ishikawa T, Lee J, Honda T, Hoffman DS	4. 巻 17
2. 論文標題 Physiological and morphological principles underpinning recruitment of the cerebellar reserve	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 CNS Neurol Disord Drug Targets	6. 最初と最後の頁 E-pub
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2174/1871527317666180315164429	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 筧 慎治, 石川享宏, 李 鍾昊, 三苫博	4. 巻 35(1)
2. 論文標題 小脳の誤差補正	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Clinical Neuroscience	6. 最初と最後の頁 55-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Yasuhiro Okada, Kenta Fujie, Shiho Suzuki, Tatsuji Morimoto, Kazuya Yoshida, Yuji Matsumoto, Yukihiro Okada, Jongho Lee, Shinji Kakei
2. 発表標題 Quantitative Evaluation of Movement Disorder of the Wrist of Hemiplegic Patients with Cerebral Stroke during the Course of Rehabilitation
3. 学会等名 ISPRM 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jongho Lee, Woong Choi
2. 発表標題 Role of Depth Information for Visuo-Motor Control in Three-Dimensional Virtual Reality Space
3. 学会等名 2019 The International Conference on Emotion and Sensibility (ICES 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Lee J
2. 発表標題 脳神経疾患の運動機能検査：上肢運動に対する定量化システムと評価方法
3. 学会等名 平成30年度日本神経学会関東・甲信越地区生涯教育講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Lee J
2. 発表標題 手首運動を利用した定量的運動機能評価システムの構築と臨床応用：高齢者に対するヘルスケアと医療支援ナビゲーターシステムへの活用
3. 学会等名 専門家招待セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 李 鍾昊
2. 発表標題 脳の運動制御能力の分析による高齢者のヘルスケアと医療支援～現状報告と在宅医療への今後の展開～
3. 学会等名 第1回公立小松大学シーズ・ニーズマッチングシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 李 鍾昊
2. 発表標題 筋活動と動きの同時計測による運動関連疾患の診断に関する研究
3. 学会等名 平成30年度生体医歯工学共同研究拠点成果報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Lee J.
2. 発表標題 脳神経疾患および脳卒中治療ナビゲーターシステムの構築について
3. 学会等名 群馬高専平成29年度電子情報工学科講演会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡崎薫, 近藤昌敏, 李 鍾昊, 笥 慎治
2. 発表標題 定量的運動機能評価システムによる早産児の運動発達検査
3. 学会等名 第2回TMEDフォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeru Honda, Hirotaka Yoshida, Jongho Lee, Toshiyuki Kondo, Shinji Kakei
2. 発表標題 Quantitative Evaluation of Smooth Pursuit Arm Movements on Kinect v2 Sensor
3. 学会等名 Neuro2017(the 40st Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshida H, Honda T, Yozu A, Lee J, Kakei S, Kondo T
2. 発表標題 Age effects on smooth pursuit arm movement
3. 学会等名 Neuroscience 2017 (the Society 's 47th annual meeting) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshida H, Honda T, Miyata S, Kumada S, Manabe M, Yozu A, Lee J, Kakei S, Kondo T
2. 発表標題 Development and Ageing Effects on Smooth Pursuit Arm Movement
3. 学会等名 5th Advances in Neuroinformatics (AINI) 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeru Honda, Hirotaka Yoshida, Jongho Lee, Shinji Kakei
2. 発表標題 Quantitative Evaluation of Motor Control in Smooth Pursuit Arm Movement on Kinect v2 Sensor
3. 学会等名 5th Advances in Neuroinformatics (AINI) 2017
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 笥 慎治, 李 鍾昊, 鏡原康裕, 本多武尊, 吉田大峰, 近藤敏之, 三苫 博	4. 発行年 2017年
2. 出版社 中外医学社	5. 総ページ数 358
3. 書名 神経運動失調のみかた、考えかた - 小脳と脊髄小脳変性症 - 「 -12. 文字のトラッキング」	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 運動機能解析システム及びそのシステムの作動方法	発明者 笥 慎治, 李 鍾昊, 織茂智之, 稲葉 彰, 岡田安弘	権利者 公益財団法人東 京都医学総合研 究所
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6322624号	取得年 2018年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 MOTOR FUNCTION ANALYSIS SYSTEM AND OPERATIONAL METHOD OF SYSTEM	発明者 笥 慎治, 李 鍾昊, 織茂智之, 稲葉 彰, 岡田安弘	権利者 公益財団法人東 京都医学総合研 究所
産業財産権の種類、番号 特許、US 10,327,675	取得年 2019年	国内・外国の別 外国

〔その他〕

公益財団法人東京都医学総合研究所 運動障害プロジェクト http://www.igakuken.or.jp/motor-control/achievement.html
--

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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------