

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：32206

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K09797

研究課題名（和文）高齢者の転倒リスクに關与する立位保持、重心移動と視覚機能との關連についての検討

研究課題名（英文）Relationship between standing balance, postural sway, and visual function in elderly fall risk

研究代表者

内川 義和（Uchikawa, Yoshikazu）

国際医療福祉大学・保健医療学部・教授

研究者番号：10331159

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：高齢者の転倒・転落につながる視覚要因を検討するために、静的立位時の重心動揺を指標として検討した。日常視下でのコントラスト感度低下、調節と輻湊の不一致、垂直方向の滑動性追従眼球運動が、姿勢を不安定にする視覚要因として明らかとなり、アイフレイル高齢者でその傾向が高いことが明らかとなった。また、足下を注視する視線配置は、姿勢安定化効果をもたらすことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、立位姿勢の保持に影響を及ぼす具体的な視覚要因を抽出できたことにある。また、姿勢安定化戦略としての視線位置の重要性について明らかにすることができたことにも意義がある。本研究で得られた横断的データは高齢者の転倒・転落アセスメントの開発につながる可能性があり、視覚機能に重点を置いた転倒・転落予防対策に資する基礎的知見を得ることができたと考える。

研究成果の概要（英文）：To investigate the visual factors leading to falls in the elderly, we examined postural sway during static standing using various visual stimuli. We identified that decreased contrast sensitivity under habitual refractive conditions, the dissociation between accommodation and convergence, and vertical smooth pursuit eye movements are visual factors that destabilize posture. Furthermore, we found that these tendencies are more pronounced in the elderly with eye frailty. Additionally, it was revealed that downward gaze has stabilized on postural control.

研究分野：眼科学、視能矯正学、リハビリテーション科学

キーワード：重心動揺 転倒 垂直眼球運動 滑動性追従眼球運動 コントラスト感度 視線位置 アイフレイル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

高齢化が進展する我が国において、健康寿命の延伸とそれを脅かす転倒・転落の予防は重要な課題である。高齢者における転倒・転落の内的、外的要因についての検討<sup>1)</sup>を基に、多くの医療機関・施設や地域において転倒・転落リスクアセスメントが行われており、標準化されたアセスメントツールの開発・構築が進められている<sup>2, 3)</sup>。視覚関連においては、転倒・転落のハイリスク高齢者の内的要因に「視覚障がい」があり、歩行時のつまずきと足下視力との関連<sup>4)</sup>、歩行動作と視線との関連<sup>5)</sup>などが報告されており、歩行時の眼球運動および視線特性と転倒との関連が報告されている。また、転倒・転落につながる要因は歩行時だけでなく種々の日常生活動作の中にも潜んでおり、運動機能の基盤となる重心動揺と転倒との関連も指摘されている<sup>6)</sup>。このように、運動機能および転倒・転落と視覚機能との関連についての報告は散見されるが、主としてリハビリテーション科学関連領域での検討が中心であり、視覚機能の専門領域からのアプローチは少ない。さらに、既存のアセスメントツールの視覚関連項目は、単に「視力障がい」あるいは「視力低下/視野障害」のみであることから、転倒・転落および運動機能や姿勢保持に関する詳細な視覚機能との関連についての検討が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究課題は、高齢者の健康寿命や Quality of life の低下を脅かす転倒・転落のリスク要因に関連する視覚機能を明らかにし、視覚機能の専門領域から転倒・転落予防対策の一端を提案することを目標としている。そこで本研究では、視覚機能を入力機能(視力や屈折、調節、コントラスト感度等)、統合機能(両眼視機能)、出力機能(両眼共同運動、輻湊・開散運動)の下位項目に分け、厳格な条件統制を行い、姿勢制御の基盤となる重心安定性との関連を明らかにする。さらに加齢による影響についても明らかにし、歩行や日常生活動作における転倒・転落リスクに関する具体的要因について視覚の観点から明らかにすることにある。

### 3. 研究の方法

(1) 歩行や日常動作の基盤となる立位姿勢の保持に着目し、立位時の姿勢安定性に影響を及ぼす視覚機能を明らかにするため、健常若年成人を対象に、静的立位時の重心動揺と視覚入力機能(視力、屈折、調節機能、眼優位性)、出力機能(両眼共同運動、輻湊・開散運動)の各視覚条件との関係を検討した。

sighting ocular dominance が姿勢制御に及ぼす影響と程度を明らかにするために、若年成人 8 名(20.8±0.4 歳)を対象に、屈折矯正により視力を補正した際の遠方注視単純課題と、凹レンズ装用による調節負荷課題における重心動揺の変化重心動揺計を用いて計測し、優位眼固視および非優位眼固視とで比較検討した。アウトカム指標は各視覚条件における静的立位時の足圧中心(Center of Pressure; CoP)の動揺面積(外周面積)とした。

近方視時の立位姿勢保持に対する調節および輻湊の関与について明らかにするために、若年成人 20 名(21.3±0.5 歳)を対象に、自然な近方視時条件と、凹レンズを負荷し視距離による輻湊要因を除外した調節負荷条件、プリズムを負荷し調節要因を除外した輻湊負荷条件における CoP の動揺軌跡長を比較検討した。加えて、調節および輻湊の協働運動と姿勢保持との関連について、自律神経機能の観点から心拍変動解析を用いた検討を行った。

共同眼球運動が姿勢保持に及ぼす影響を明らかにするために、若年成人 20 名(21.7±0.5 歳)を対象に、衝動性眼球運動(Saccadic eye movement; SEM)および滑動性追従眼球運動(Smooth pursuit eye movement; SPEM)負荷時の CoP の動揺軌跡について、CoP 動揺軌跡長、動揺の方向性および周波数成分について解析を行った。

(2) 歩行時の視覚機能の役割および立位姿勢の保持における視覚機能の役割に着目し、若年成人および高齢者を対象に検討を行った。高齢者や転倒ハイリスク者では、歩行時の下方への視線配置の増大が知られていることから、下方注視歩行時の眼球運動特性および下方への視線配置が姿勢制御に及ぼす影響、および垂直方向の眼球運動負荷時の姿勢制御への影響について検討した。

下方注視歩行時の眼球運動成分について視線解析装置を用いて若年者を対象とした基礎的な検討を行った。若年成人 14 名(21.7±0.8 歳)を対象に、屋内廊下に 10 m の平坦な直線歩行路を設定し、通常歩行あるいは足元注意歩行の 2 条件で歩行させたときの視線位置を装着式眼球運動測定装置を用いて経時的に記録した。視野カメラの検出範囲(左右 50、上方 20、下方 40

度)内の水平および垂直の2次元座標に示される視線位置の変動(deg)から、水平および垂直眼球運動成分をそれぞれ抽出し、通常歩行と足元注意歩行とで比較した。

下方視(Downward gaze; DWG)は姿勢安定化戦略の一つとして考えられている<sup>7,8)</sup>が、姿勢制御への関連は認めないとする報告<sup>9)</sup>や、DWGで姿勢は不安定になるとの報告<sup>10)</sup>もあり、一定の見解が得られていない。そこで、静的立位時のDWGが重心動揺に及ぼす影響について、床面の安定性との関連と合わせて検討した。若年成人12名(21.4±0.5歳)を対象に、視線位置による姿勢安定化効果について検討するために、閉眼(Eyes closed; EC)2m前方の正面視(Forward gaze; FG)および足先150cm(DWG<sub>150</sub>)、75cm(DWG<sub>75</sub>)の固定視標を注視させたときの重心動揺を比較検討した。床面条件は安定した硬い床面(Firm surface)と圧プレート上にフォームラバーを敷いた不安定な床面(Foam surface)とした。

下方注視歩行時の垂直眼球運動成分の増大や下方視の姿勢安定化戦略への寄与について、いくつかの知見が得られ垂直方向の眼球運動の姿勢制御への関与が考えられるが検討したものは無い。そこで、垂直眼球運動が立位姿勢保持に及ぼす影響について、地域在住高齢者(20名、75.6±5.0歳)を対象に若年者(13名、21.6±0.9歳)との比較検討を行った。CoP計測中の眼球運動および頭部運動の記録には、眼鏡型視線解析装置を用い、視線位置および加速度センサーによる頭部の角速度を経時的に計測した。頭部運動の検討には、水平回転(yaw)、垂直回転(pitch)方向の角速度の絶対値を解析に用いた。また、下方視での影響は若年成人を対象に検討した。

(3)日常生活での「見え方」の実態が姿勢安定性に及ぼす影響を検討するために、地域在住高齢者33名(65~84歳、平均74.5歳)を対象に、アイフレイルチェックリストを用いてアイフレイル群と非アイフレイル群の2群に分け、アイフレイル高齢者群とロバスト群とで、視機能要因と姿勢安定性との関連性について検討した。姿勢制御の評価にはRomberg率(開眼時に対する閉眼時の総軌跡長比)を求めた。視覚機能は、日常視下および屈折矯正下での視力、コントラスト感度を測定した。両群間における各変数を比較した。

#### 4. 研究成果

##### (1)立位時の姿勢安定性に影響を及ぼす視覚機能の検討

遠方注視単純課題でのCoP外周面積は、非優位眼に比べ優位眼固視で減少し固視眼による差異を認めしたが、調節負荷課題では1.0Dの調節負荷からその差は消失した(図1)。Sighting ocular dominanceは単純な視覚課題での姿勢制御に影響を及ぼすが、その影響は視覚刺激の要素の追加により消失した。姿勢制御に関わる視覚入力において、Sighting ocular dominanceの影響は限定的であり、複雑な視覚刺激の負荷ではその寄与は小さいことが示唆された。

CoP総軌跡長は両眼閉眼に比べ両眼開眼で減少し、さらに近方視0.5m、0.25mと距離に応じて減少した。調節負荷および輻湊負荷条件では、両眼開眼との差を認めなかった。近方視0.25mのCoP総軌跡長と比べ、0.25mの注視に必要となる4.0Dの調節負荷およびプリズムによる輻湊負荷時のCoP総軌跡長は有意に延長した(図2)。輻湊量とCoP総軌跡長との関連については、近方視条件では輻湊量が増加するほどCoP総軌跡長は減少したが、輻湊負荷条件では相関を認めなかった(図3)。近方視では視距離に依存して輻湊量が大きいほど重心動揺は減少した。しかし、調節あるいは輻湊のみの負荷条件では重心動揺の減少を認めなかったことから、近方視時の姿勢安定化には両者の協調運動が必要であることが示唆された。自律神経機能との関連については、プリズム装用直後にLF/HFの増加を認めたが、順応後には低下し、一過性の反応であった(図4)。プリズム装用による交感神経活性の増加は一過性であり、プリズム装用による輻湊負荷での姿勢安定性の変化と自律神経機能の変化との間に関連性は認めなかった。

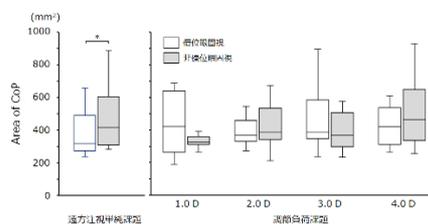


図1 固視眼によるCoP外周面積

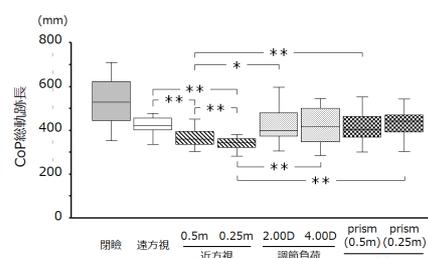


図2 各視覚条件でのCoP総軌跡長

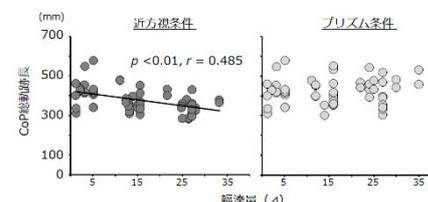


図3 輻湊量とCoP総軌跡長との関連

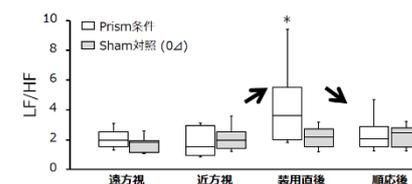


図4 プリズム装用とLF/HFの変化

SEM 負荷より SPEM 負荷で CoP 動揺軌跡長は増加し、姿勢制御に及ぼす影響については両眼球運動に相違があることが明らかとなった。さらに SPEM 負荷時の重心動揺の応答特性を明らかにするため、固視条件、0.1、0.3、0.5Hz の水平 30° 振幅の SPEM 負荷時の重心動揺のパワースペクトルからピーク周波数を求め変動係数 (CV) を検討した。その結果、パワースペクトル曲線は、低周波数から高周波数にかけて減少するスロープを示し、SPEM の刺激頻度 (SPEM 速度) に関わらず 0.3~0.4 Hz の間にばらつきの少ないピークを示したことから、この周波数帯の身体の揺らぎは SPEM による特異的な姿勢応答であることが示唆された (図 5)

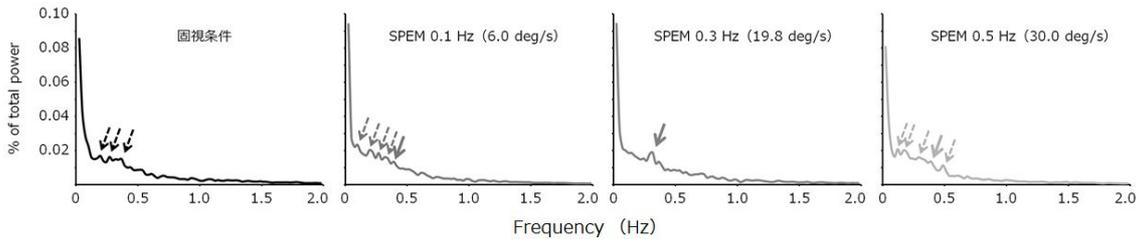


図 5 固視および SPEM 負荷条件と重心動揺パワースペクトル曲線

(2) 歩行時の視覚機能の役割に着目した、下方注視歩行時の眼球運動特性、下方への視線配置が姿勢制御に及ぼす影響および垂直方向の眼球運動負荷時の姿勢制御への影響についての検討

歩行時の眼球運動成分について、通常歩行時の水平眼球運動成分と垂直眼球運動成分に差を認めなかったが、下方注視歩行時では水平眼球運動成分に比べ垂直眼球運動成分は増大し (図 6) 下方注視歩行時の歩行速度と垂直眼球運動成分に負の相関関係を認めた (図 7)。下方注視歩行時には、下方注視に伴う垂直方向に運動する Optic flow の増加により、垂直方向の眼球運動成分が増大したことが考えられた。また、垂直眼球運動の増大は歩行速度の低下と関連し、歩行速度が低下するほど眼球運動は増大することが示唆された。

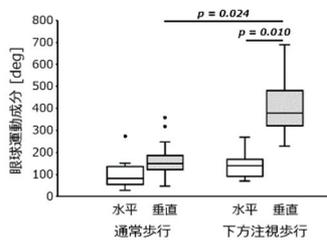


図 6 歩行条件と眼球運動成分

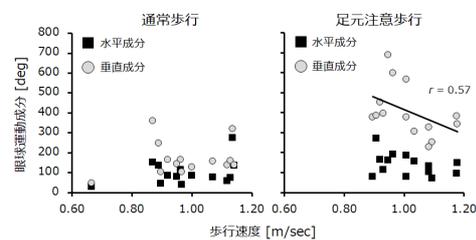


図 7 歩行速度と眼球運動成分の相関

固定視標の注視条件において、Firm surface では重心動揺は少なく、視線位置によって CoP に差を認めなかったが、不安定な Foam surface では、CoP の左右方向 (CoP<sub>ML</sub>) 前後方向 (CoP<sub>AP</sub>) とともに、EC に比べ FG、DWG で動揺軌跡は減少し、さらに、FG、DWG<sub>150</sub> に比べ、DWG<sub>75</sub> で減少した (図 8)。なお、頭部屈曲角度と CoP との間に相関は認めなかった。不安定な床面では、視線位置は静的立位時の重心動揺と関連し、頭部を屈曲させた下方視で姿勢は安定することが示唆された。

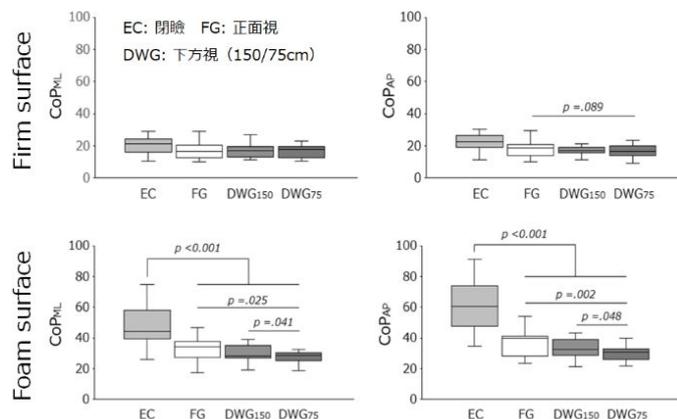


図 8 FG、DWG における CoP 軌跡長-床面での検討-

高齢者において、垂直方向の SEM および SPEM 負荷時の動揺軌跡長は、CoP<sub>ML</sub> に比べ CoP<sub>AP</sub> で動揺軌跡長は増加した。また、CoP<sub>AP</sub> の動揺軌跡長は SEM より SPEM 負荷で増加した。一方、水平方向の SEM および SPEM 負荷による CoP<sub>ML</sub> と CoP<sub>AP</sub> の動揺軌跡長には差を認めな

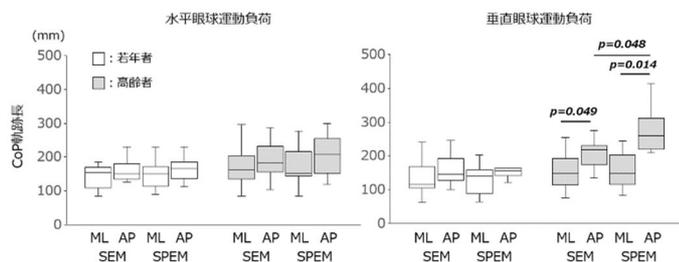


図 9 SEM および SPEM 負荷時の CoP<sub>ML</sub>、CoP<sub>AP</sub>

かった。若年者では高齢者でみられた CoP<sub>AP</sub> の変化は認められなかった (図 9)。高齢者では若年者に比べ、眼球運動の gain は低下し、さらに水平眼球運動に比べ垂直眼球運動での gain の低下が顕著であった (図 10)。

地域在住高齢者において、垂直眼球運動負荷は前後方向の重心動揺を増大させ、その影響は SEM に比べ SPEM 負荷で大きいことが明らかとなった。また、垂直眼球運動の gain の低下が顕著であったことから、垂直眼球運動負荷に伴う頭部運動の増加と眼球運動の精度の低下が、姿勢安定性に影響を及ぼしたことが示唆された。また、下方視によって垂直 SPEM 負荷による前後方向の重心動揺は減少し、その減少効果は下方視時の視距離と関連し、視距離が短いほど姿勢は安定することが示唆された。固視条件だけでなく、眼球運動負荷条件においても下方視は姿勢安定化効果をもたらすことが示された。

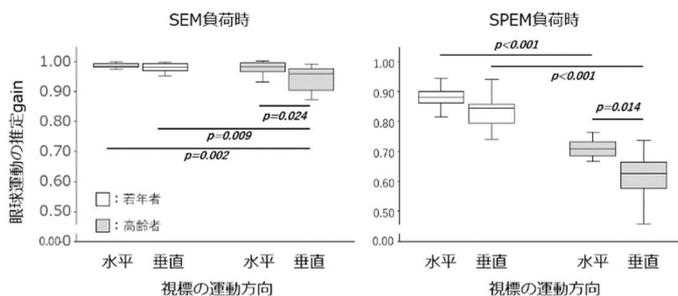


図 10 SEM および SPEM 負荷時の眼球運動 gain

また、垂直眼球運動の gain の低下が顕著であったことから、垂直眼球運動負荷に伴う頭部運動の増加と眼球運動の精度の低下が、姿勢安定性に影響を及ぼしたことが示唆された。また、下方視によって垂直 SPEM 負荷による前後方向の重心動揺は減少し、その減少効果は下方視時の視距離と関連し、視距離が短いほど姿勢は安定することが示唆された。固視条件だけでなく、眼球運動負荷条件においても下方視は姿勢安定化効果をもたらすことが示された。

(3) ロバスト群に比べアイフレイル高齢者群で Romberg 率および日常視下でのコントラスト感度が有意に低下していた。屈折矯正下での視力およびコントラスト感度には差を認めなかった。日常視下でのコントラスト感度低下による視覚の質的低下が、アイフレイル高齢者の姿勢保持における視覚依存度の低下に関連していることが示唆された。

#### < 引用文献 >

- 1) AGS panel of falls prevention: Guideline for the prevention of falls in older persons. J Am Geriatr Soc 49: 664-672, 2001.
- 2) 黒川美知代, 他: 転倒・転落予防の実態～赤十字病院における転倒・転落リスクアセスメントの現状～ 日転倒予会誌 5, 57-60, 2018.
- 3) 横田慎一郎, 他: 転倒・転落リスクアセスメントのあり方をツール開発評価の観点から検討する. 日転倒予会誌 5, 51-55, 2018.
- 4) 鈴木武敏: 転倒予防のための足元視力重視の屈折矯正. 日転倒予会誌 5, 7-11, 2018.
- 5) Yamada M, et al: Dual-task walk is a reliable predictor of falls in robust elderly adults. J Am Geriatr Soc 59, 163-164, 2011.
- 6) 矢澤真, 他: 重心動揺は成人脊柱変形における転倒リスクを予測できるか? J Spine Res 8, 1765-1769, 2017.
- 7) Aoki O, et al: Influence of gaze distance and downward gazing on postural sway in hemiplegic stroke patients. Exp Brain Res 232, 535-543, 2014.
- 8) Koren Y, et al: Gazing down increases standing and walking postural steadiness. R Soc Open Sci 8, e201556, 2021.
- 9) Maslivec A, et al: Head flexion and different walking speed do not affect gait stability in older females. Hum Mov Sci 55, 87-93, 2017.
- 10) Buckley JG, et al: Does head extension and flexion increase postural instability in elderly subjects when visual information is kept constant? Gait Posture 21, 59-64, 2005.

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 0件）

1. 著者名 内川義和、生田目美海、荒井美穂、黒川愛弥乃、佐藤円香、寺山美穂、渡邉大、岡野真弓、高橋由嗣、新井田孝裕	4. 巻 52
2. 論文標題 立位姿勢における滑動性追従眼球運動負荷時の重心動揺周波数特性についての検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本視能訓練士協会誌	6. 最初と最後の頁 45 ~ 49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4263/jorthoptic.52F106	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 内川義和、伊藤果歩、川田祐輔、中田帆奈美、阪田智陽、ZHU ZIMU、五位淵瑠華、佐藤由理、須藤真未、鷹箸風子、立石爽音、岡野真弓、石坂正大、新井田孝裕	4. 巻 53
2. 論文標題 地域在住高齢者における垂直眼球運動負荷が立位時の重心動揺に及ぼす影響	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本視能訓練士協会誌	6. 最初と最後の頁 103 ~ 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4263/jorthoptic.53F114	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 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 内川義和、他
2. 発表標題 足元注意歩行時の眼球運動成分の特性についての検討
3. 学会等名 第12回国際医療福祉大学学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内川義和、他
2. 発表標題 垂直眼球運動負荷による立位時の重心動揺への影響 ~ 地域在住高齢者での検討 ~
3. 学会等名 第63回日本視能矯正学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内川義和、他
2. 発表標題 基底外方ブリズム装用による輻湊負荷と重心動揺、自律神経機能との関連について
3. 学会等名 第75回日本自律神経学会総会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内川義和、原直人、荒井美穂、黒川愛弥乃、佐藤円香、寺山美穂、生田目美海、渡邊大、岡野真弓、高橋由嗣、新井田孝裕
2. 発表標題 輻湊と調節の不一致による自律神経機能および姿勢制御への影響について
3. 学会等名 第74回日本自律神経学会総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内川義和、荒井美穂、黒川愛弥乃、佐藤円香、寺山美穂、生田目美海、渡邊大、岡野真弓、高橋由嗣、新井田孝裕
2. 発表標題 近方視時の立位姿勢安定化に対する調節と輻湊の協調運動の重要性
3. 学会等名 第11回国際医療福祉大学学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内川義和、荒井美穂、黒川愛弥乃、佐藤円香、寺山美穂、生田目美海、渡邊大、岡野真弓、高橋由嗣、新井田孝裕
2. 発表標題 静的立位時における滑動性追従眼球運動負荷時の重心動揺の周波数特性についての検討
3. 学会等名 第62回日本視能矯正学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内川義和、岡野真弓、高橋由嗣、新井田孝裕
2. 発表標題 静的立位時における水平眼球運動負荷時の重心動揺スペクトル解析
3. 学会等名 第61回日本視能矯正学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内川義和、安藤千尋、金澤怜南、中谷榛乃、細谷花琳、松本玲、宮田夏菜、岡野真弓、高橋由嗣
2. 発表標題 Sighting ocular dominanceが静的立位時の姿勢動揺に及ぼす影響度合いについて
3. 学会等名 第10回国際医療福祉大学学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内川義和、原直人、安藤千尋、金澤怜南、中谷榛乃、細谷花琳、松本玲、宮田夏菜、岡野真弓、高橋由嗣、新井田孝裕
2. 発表標題 近方視における姿勢制御と自律神経との関連 - 調節負荷による眼副交感神経の賦活化が姿勢制御に及ぼす影響 -
3. 学会等名 第73回日本自律神経学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内川義和、村澤 葵、山空京加、高橋龍介、中村彩乃、石川尚輝、石関優菜、大塚梨央、左近有未、友野花菜、中嶋もえ、原田菜生、岡野真弓、新井田孝裕
2. 発表標題 安定 / 不安定床面での静的立位時における視線位置が重心動揺に及ぼす影響
3. 学会等名 第13回国際医療福祉大学学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 内川義和、今中楓菜、石坂正大、渡邊観世子、岡野真弓、新井田孝裕
2. 発表標題 地域在住高齢者のアイフレイルの有無と姿勢制御および視力、コントラスト感度との関連
3. 学会等名 第77回日本臨床眼科学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 内川義和、石川尚輝、石関優菜、大塚梨央、左近有未、友野花菜、中嶋もえ、原田菜生、中村彩乃、村澤 葵、山空京加、高橋龍介、岡野真弓、新井田孝裕
2. 発表標題 滑動性追従眼球運動負荷時の視線位置が立位姿勢安定化に及ぼす影響
3. 学会等名 第64回日本視能矯正学会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	岡野 真弓 (Okano Mayumi) (80320498)	国際医療福祉大学・保健医療学部・准教授  (32206)	
研究分担者	高橋 由嗣 (Takahashi Yoshiaki) (20791768)	国際医療福祉大学・保健医療学部・助教  (32206)	
研究分担者	新井田 孝裕 (Niida Takahiro) (30222730)	国際医療福祉大学・保健医療学部・教授  (32206)	

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