

機関番号：24601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500582

研究課題名（和文） 高速運動物体に対する動体視力の年齢的变化とその神経機構の解明

研究課題名（英文） The mechanisms of dynamic visual acuity in pursuing a high-speed moving object

研究代表者

和田 佳郎 (WADA YOSHIRO)

奈良県立医科大学・医学部・講師

研究者番号：80240810

研究成果の概要（和文）：本研究では次の2つの実験をおこなった。(1)マウスを対象に視運動性眼球運動の刺激模様の面積と位置に対する依存性を明らかにした。眼球運動の初期成分（刺激後100-200ms）は刺激模様の縦幅が5度では眼球から上方25度の位置に提示した場合が最も眼球運動速度が速かった。(2)ヒトを対象に身体roll傾斜（条件A）と横方向の遠心力（条件B）に対する傾斜感覚と回旋性眼球運動の特性を明らかにした。傾斜感覚と回旋性眼球運動は条件Aと条件Bで特性が大きく異なった。以上の結果は、高速運動物体に対する動体視力の神経機構の解明のための研究の基礎的データとなる。

研究成果の概要（英文）：Following two experiments were conducted in this study: (1) The effects of stimulus size and location on the mouse optokinetic response (OKR) were examined. Presenting 5 degrees-width stimuli at different vertical locations revealed the spatial distribution of optokinetic sensitivity across the retina. The most sensitive part of the visual field was located at +25 degrees. (2) Roll-tilt perception and ocular counter-rolling (OCR) under whole body roll-tilt (condition A) and interaural centrifugal acceleration (condition B) were examined on humans. Properties of roll-tilt perception and OCR were largely different between two conditions. These data will support our next experiment on the mechanisms of dynamic visual acuity in pursuing a high-speed moving object.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：スポーツ科学

キーワード：眼球運動、視運動刺激、傾斜、空間識、宇宙、ヒト、マウス

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究代表者は空間識研究の一環として、研究開始当初はスポーツ競技にヒントを得てヒトを対象とした高速運動物体に対する追跡眼球運動の神経機構をテーマとした実験を提案した。

(2) その後、眼球運動神経機構の解明のためにはニューロン記録、脳破壊、遺伝子改変などが可能なマウスを対象とした実験が有用であると考え、視運動刺激によって誘発されるマウスの眼球運動の基本的特性を調べることにした。

(3) 空間識とは空間における自己の位置、方向、傾斜、運動などの認識であることから、ヒトを対象とした実験としては、当初の dynamic な“運動”に注目した内容から static な“傾斜”に関する内容へとシフトした。これは、国際宇宙ステーションを利用した宇宙実験の国際公募に本研究代表者が提案した「長期宇宙滞在中の空間識の適応的变化」に関するテーマが採択され(2013年実施予定)、宇宙実験とリンクするには“傾斜”に注目した研究がより重要であると判断したためである。

2. 研究の目的

(1) マウスの実験に関しては、視運動刺激によって誘発されるマウスの眼球運動の基本的特性を検討した。

(2) ヒトの実験に関しては、“傾斜”に対する反応として自覚的な傾斜感覚と他覚的な眼球運動について検討した。

3. 研究の方法

(1) マウスの実験に関しては、視覚刺激としてマウスの周囲に設置した3面の液晶モニターを用いて右/左方向に等速運動(12度/秒)する黒白の縦縞模様(縦幅5度, 15度, 25度, フルスクリーンの4種類)を提示し、その際の水平性眼球運動を小型赤外線カメラにて測定した(図1)。

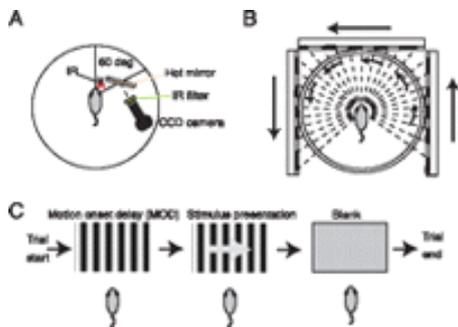


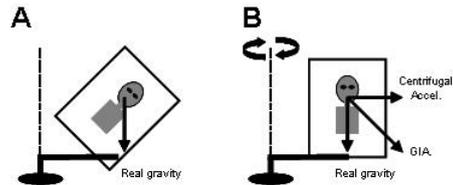
図1 マウスの実験システム

(2) ヒトの実験に関しては、航空医学実験隊の空間識訓練装置(図2)を用いて、各種重力環境下における傾斜感覚と回旋性眼球運動(ocular counter-rolling, OCR)を測定した。実験は視覚情報がない条件下でゴーグル型眼球回旋撮影装置(NEUOPTO, ET-60)を装着した被験者を座位にてバイトバー、頭部固定装置、ネックカラー、5点式シートベルト、体部固定装



図2 空間識訓練装置

置を用いて頭部、頸部、体幹を固定した。空間識訓練装置を左に roll 傾斜(0-90度)させた条件Aと、身体は直立させて左方向に遠心力(0-2.14G)を負荷した条件Bにて、回転感と眼振が消失した後被験者に前方スクリーン上のbarを重力軸に合わせるよう指示し、自覚的視性垂直位(subjective visual vertical, SVV)を測定し、SVVと頭部roll傾斜角度の差から傾斜感覚を算出した(図3参照)。また同時に眼球映像を記録し、虹彩紋裡を指標として手動にてOCRを測定した。



Head Roll-tilt	IA Accel.	DV Accel.	Head Roll-tilt	IA Accel.	DV Accel.	Centrifugal Accel.
deg	g	g	deg	g	g	g
0	0.00	1.00	0	0	1.00	0.00
10	0.17	0.98	10	0.18	1.00	0.18
20	0.34	0.94	20	0.36	1.00	0.36
30	0.50	0.87	30	0.58	1.00	0.58
45	0.71	0.71	45	1.00	1.00	1.00
60	0.87	0.50	60	1.73	1.00	1.73
75	0.97	0.26	65	2.14	1.00	2.14
90	1.00	0.00				

図3 身体roll傾斜条件(A)と横方向への遠心力負荷条件(B)

4. 研究成果

(1) マウスの実験に関しては、マウス(n=12)の眼球運動は視覚刺激開始約100ms後から誘発され、眼球運動の特性は初期成分(刺激後100-200ms)と持続成分(刺激後400-500ms)で異なった。眼球運動の持続成分は視覚刺激の模様の面積に依存し、眼球運動速度はフルスクリーンでは約4度/秒であったが、縦幅が小さくなるに従って遅くなり縦幅15度ではほぼ0度/秒となった。それに比べて眼球運動の初期成分に対する視覚刺激の模様の面積の影響は小さく、縦縞模様の縦幅が5度でも0.5-3度/秒の眼球運動が誘発された。しかし、眼球運動の初期成分の大きさは視覚刺激の提示位置によって異なり、縦幅5度では眼球から上方25度の位置に提示した場合が最も眼球運動速度が速かった(図4)。以上の結果から、マウスの網膜には中心窩が存在しないにも関わらず視覚刺激によってヒトと類似の眼球運動が誘発され、眼球運動の初期成分と持続成分の特性が大きく異なることが明らかとなった。これは神経機構に差があることを意味しており、本研究にとって相応しい実験モデルであることが示された。現在、これらの結果を基にして、マウスの「高速運動物体に対する眼球運動野の神経機構の解明」を目指した実験を計画しているとこ

ろである。

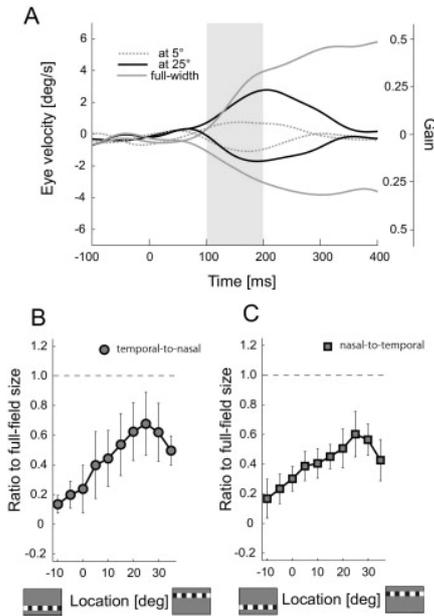


図4 視運動刺激の位置に依存するマウス眼球運動の初期成分

(2) ヒトの実験に関しては、6名の被験者の条件A、Bにおける傾斜感覚とOCRの結果(平均)を傾斜角度(条件Aの場合は重力と身体の角度、条件Bの場合は重力と遠心力の合力と身体の角度)を横軸としてプロットした(図5)。条件Aでは、傾斜感覚は傾斜角度が10度から20度の間は過小評価(A-effect)、30度から45度の間は過大評価(E-effect)、60度でほぼ正確となり90度では再び過小評価となった。OCRゲインは傾斜角度が10度では0.16であったが傾斜角度が大きくなるに従って小さくなり90度では0.06となった。一方、条件Bでは、傾斜感覚は傾斜角度が10度から45度の間は過小評価、60度でほぼ正確となり90度では再び過大評価となった。OCRゲインは傾斜角度が10度では0.11であったが傾斜角度が大きくなるに従って小さくなり60度では0.08となった。しかし、65度では再び大きくなり0.09となった。このように傾斜感覚とOCRの特性が条件AとBで大きく異なったことから、傾斜に対する反応は必ずしも傾斜角度のみによって決まるものではないことが明らかとなった。また、同じ刺激条件でも傾斜感覚とOCRとは必ずしも同じ傾向ではなかったことから、脳を介した認識(傾斜感覚)と脳幹を介した反射(OCR)という出力ではその特性が異なることが示された。このような成果を基礎データとして、ヒトの「高速運動物体に対する動体視力の神経機構の解明のための研究」を進めていきたいと考えている。

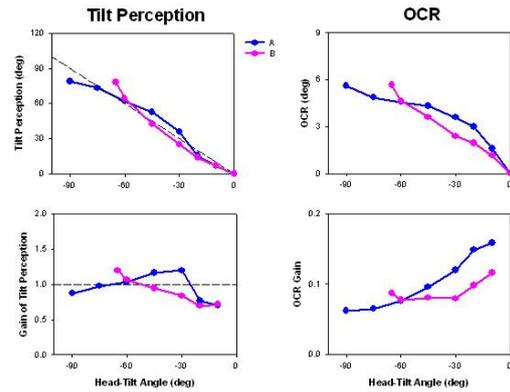


図5 身体roll傾斜(A)と横方向への遠心力(B)に対する傾斜感覚とOCR

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ① Shimizu N, Tabata H, Wada Y, Sugita Y, Yamanaka T, Hosoi H, Kawano K, Distribution of optokinetic sensitivity across the retina of mice in relation to eye orientation, Neuroscience, 査読有, vol.16, 2010, 200-208
- ② 和田佳郎、眼球運動から見た耳石器のはたらきー耳石器動眼反射研究の紹介ー、Equilibrium Res., 査読無, vol. 69, 2010, 152-160
- ③ 池田聖、柴田智広、和田佳郎、複合現実環境内での輻輳性眼球運動の計測：直線加速感を測る客観的指標を求めて、画像ラボ、査読無, vol. 21, 2010, 34-37
- ④ 和田佳郎、健常人の傾斜感覚に対する耳石器代行装置の効果、信学技報、査読無, vol. 110, 2010, 367-372
- ⑤ Tabata H, Shimizu Y, Wada Y, Miura K and Kawano K, Initiation of the optokinetic response (OKR) in mice, J. Vision, 査読有, vol.10, 2010, 1-17
- ⑥ 池田聖、和田佳郎、柴田智広、輻輳性眼球運動に基づく直線加速度評価のための複合現実環境の構築、映像情報メディア学会誌、査読有, vol.64, 2010, 224-247
- ⑦ 加島崇史、和田佳郎、桑田成雄、平田豊、プリズム適応における学習と記憶保持特性に与える重力の影響、信学技報、査読無, vol.109, 2010, 367-372
- ⑧ Hasegawa T, Yamashita M, Suzuki T, Hisa Y, Wada Y, Exp Brain Res., 査読有, vol.194, 2008, 505-516
- ⑨ 和田佳郎、竹村文、河野憲二、協調運動に関する脳研究の進歩、総合リハビリテーション、査読無, vol. 36, 2008, 127-131

〔学会発表〕(計 28 件)

- ① 和田佳郎その他 13 名、ISS実験計画：長期宇宙滞在中の傾き感覚の形成に対する視覚と頸部深部感覚の関与、第 27 回宇宙利用シンポジウム、2011 年 1 月 24 日、相模原市
- ② 清水直樹、山中敏彰、細井裕司、和田佳郎、河野憲二、マウスの眼球軸方位と視覚運動感受性の網膜上分布の関係、第 69 回日本めまい平衡医学会総会、2010 年 11 月 18 日、京都市
- ③ 和田佳郎、前庭系の最先端研究：分子生物学からシステムニューロサイエンスまで 古くて新しい謎「宇宙で傾きは存在するか?」、第 69 回日本めまい平衡医学会総会、2010 年 11 月 18 日、京都市
- ④ 松延毅、栗田昭宏、溝上大輔、田村敦、塩谷彰浩、緒方克彦、和田佳郎、身体および視覚情報のroll 傾斜が頭位と自覚的身体軸方向に及ぼす影響、第 56 回日本宇宙航空環境医学会大会、2010 年 11 月 13 日、所沢市
- ⑤ 和田佳郎、宇宙実験「長期宇宙滞在中の傾き感覚の形成に対する視覚と頸部深部感覚の関与」の紹介、第 56 回日本宇宙航空環境医学会大会、2010 年 11 月 12 日、所沢市
- ⑥ 和田佳郎、宇宙で回旋性眼球運動が誘発された理由を考える、電気関連学会東海支部連合大会シンポジウム、2010 年 8 月 30 日、中部大学
- ⑦ 和田佳郎、空間識から見たドライバの安全、第 5 回生体信号解釈とドライバの安全実現研究会、2010 年 8 月 20 日、名古屋市
- ⑧ 和田佳郎、健常人の傾斜感覚に対する耳石器代行装置の効果、ニューロコンピューティング研究会、2010 年 7 月 27 日、京都大学
- ⑨ 加島崇史、和田佳郎、桑田成雄、平田豊、プリズム適応における学習と記憶保持特性に与える重力の影響、電子情報通信学会NC、2010 年 3 月 11 日、東京
- ⑩ 和田佳郎、空間識訓練装置を用いた直線加速度に対する生体反応の研究～生理学・工学・心理学的アプローチ～、航空自衛隊講話、2010 年 3 月 5 日、入間市
- ⑪ 和田佳郎その他 15 名、roll傾斜および横方向の直線加速度刺激に対する回旋性眼球運動、第 26 回宇宙利用シンポジウム、2010 年 1 月 25 日、相模原市
- ⑫ 清水直樹、山中敏彰、細井裕司、河野憲二、和田佳郎、マウスにおける視運動性反応の初期応答成分の性質、第 68 回日本めまい平衡医学会総会、2009 年 11 月 26 日、徳島市
- ⑬ 和田佳郎、山中敏彰、細井裕司、平衡感覚代行システムによる傾斜感覚の増強とその持続効果—自覚的視性垂直位 (SVV) による評価—、第 68 回日本めまい平衡医学会総会、2009 年 11 月 26 日、徳島市
- ⑭ 松延毅、栗田昭宏、田村敦、塩谷彰浩、和田佳郎、健常成人の自覚的視性垂直位 (SVV) に対する頭部傾斜の影響、第 68 回日本めまい平衡医学会総会、2009 年 11 月 26 日、徳島市
- ⑮ 和田佳郎、VEMP：耳石器機能検査としての位置づけと今後の展開、第 68 回日本めまい平衡医学会総会、2009 年 11 月 26 日、徳島市
- ⑯ 栗田昭宏、松延毅、溝上大輔、塩谷彰浩、田村敦、緒方克彦、和田佳郎、身体の傾斜感覚に対する視覚情報の効果、第 55 回日本宇宙航空環境医学会大会、2009 年 11 月 14 日、岐阜市
- ⑰ 和田佳郎、緒方克彦、身体のroll 傾斜に対するOcular-counter rolling と傾斜感覚の関係、第 55 回日本宇宙航空環境医学会大会、2009 年 11 月 14 日、岐阜市
- ⑱ 長谷川達央、和田佳郎 高速運動物体追跡中の能動的頭部直線運動と眼球運動の関係、第 110 回日本耳鼻咽喉科学会総会、2009 年 5 月 14 日、東京都
- ⑲ 西山潤平、木下伸一、和田佳郎、桑田成雄、平田豊、瞳孔フラッシュ応答による過重力負荷が自律神経系に及ぼす影響の評価、ニューロコンピューティング (NC) 研究会、MEとバイオサイバネティクス (MBE) 研究会、2009 年 3 月 11 日、東京
- ⑳ 和田佳郎その他 9 名、特殊重力環境下における感覚—運動系の生理学および心理学的応答：研究班WG「宇宙環境へ適応するための感覚—運動ゲインコントロール」活動報告、第 25 回宇宙利用シンポジウム、2009 年 1 月 14 日、相模原市
- 21 和田佳郎、緒方克彦、頸部体性感覚入力 が傾斜感覚に及ぼす影響、第 67 回日本めまい平衡医学会総会、2008 年 11 月 15、東京
- 22 和田佳郎、長谷川達央、池田聖、柴田智広 耳石器の傾き—直線運動錯覚現象を利用した加速度VRシステムの構築、第 67 回日本めまい平衡医学会総会、2008 年 10 月 30 日、秋田
- 23 池田聖、和田佳郎、長谷川達央、石田純一、柴田智広、輻輳性眼球運動を指標とした加速感増強のためのモーションプラットフォームの傾斜制御、第 13 回日本バーチャリアリティ学会、2008 年 9 月 24 日 26、奈良
- 24 岡圭輔、岡村和哉、谷口善彦、池田聖、柴田智広、山下勝幸、和田佳郎、耳石器の錯覚現象によって誘発される直線運動

- 感、第 101 回近畿生理学談話会、2008 年 9 月 13 日、大阪
- 25 大塚敬太、石田純一、辻裕樹、福岡晃平、藤本直己、今井裕一郎、山下勝幸、和田佳郎、マウスガードの装着が握力・背筋力に与える影響、第 101 回近畿生理学談話会、2008 年 9 月 13 日、大阪
 - 26 和田佳郎、池田聖、長谷川達央、石田純一、柴田智広、ドライビングシミュレータにおける傾き—直線運動錯覚、ニューロコンピューティング (NC) 研究会、2008 年 7 月 15 日、京都
 - 27 Hasegawa T, Taki M, Yamamoto S, Suzuki T, Hisa Y, Yamashita M, Wada Y, Eye movements to pursue a high-speed moving object during active linear head motion, The 25th Barany Society Meeting, 2008/3/31-4/3, Kyoto
 - 28 Wada Y, Yamashita M, Effects of repeated active head rotation on eye-head movement to pursue a high-speed moving object, The 25th Barany Society Meeting, 2008/3/31-4/3, Kyoto

[図書] (計 1 件)

- ① 和田佳郎、真興交易医書出版部 (東京)、トレーニングと感覚：平衡感覚における体性感覚、身体トレーニング (宮村実晴編)、2009、88-93

[その他] (計 1 件)

- ① 和田佳郎、JSF&JAXA、頸性動眼反射 (cervico-ocular reflex) を指標とした体性感覚の定量的評価法の確立—宇宙での空間識研究のブレイクスルーを目指して—、宇宙環境利用に関する公募地上研究ニュース、vol. 12, 2009, 10-11

6. 研究組織

(1) 研究代表者

和田 佳郎 (WADA YOSHIRO)

奈良県立医科大学・医学部・講師

研究者番号：80240810