

仮想現実感を利用した軽度認知障害を予防する スポーツビジョントレーニングシステムの開発およびその評価

福井大学 高田宗樹
(共同研究者) 名古屋産業科学研究所 宮尾 克
四日市看護医療大学 高田真澄
富山県立大学 木下史也
視空間工房株式会社 田原博史

Development of Sports Vision Training System Using Virtual Reality for Prevention of Mild Cognitive Impairment

by

Hiroki Takada

University of Fukui

Masaru Miyao

Nagoya Industrial Science Research Institute

Masumi Takada

Yokkaichi Nursing and Medical Care University

Fumiya Kinoshita

Toyama Prefectural University

Hiroshi Tahara

Visual Space Co. Ltd.

ABSTRACT

In recent years, sports vision has often been included in visual function training for preserving and restoring human cognitive functions. By taking the primary aspects of brain science and cognitive psychology into consideration, sports vision can be

effective in maintaining cognitive functions. Furthermore, preventive measures against dementia need to be established for elderly people. In the proposed study, game content based on virtual reality was developed for diagnosing and managing mild cognitive impairment. A total of 164 paid healthy volunteers participated in the proposed study. Electroencephalogram (EEG) on the brow was performed while conducting the proposed game for sports vision training (SVT). The obtained statistical results of the theta component in the EEG power spectrum demonstrate that cognitive activity can be enhanced through SVT.

要 旨

近年着目されているスポーツビジョンは視機能の維持・回復をめざしたトレーニングに取り入れられている。省スペース化に有効なだけでなく、脳科学的な考察から認知機能の維持にも効果があるとされている。ここでは健常者 164 名を対象として、本研究で開発した視空間脳体操 3D プログラムのコンテンツを用いた作業時における額脳波を計測した。そのスペクトル解析を行い、スポーツビジョントレーニングが脳活動に及ぼす影響について検討した。いずれのスペクトルパワー分布も θ 波成分が著しく大きい特徴をもつことから、上述の目的に沿うものであると考えられた。

緒 言

厚生労働省の報告では、2025 年には認知高齢者数が 700 万人を超え、約 5 人に 1 人が認知症に罹患すると推計されている¹⁾。認知症が進行すると介護を必要とする可能性が非常に高く、保健医療福祉分野における重要な課題となっている。国は、平成 27 年に「認知症施策推進総合戦略（新オレンジプラン）」を制定した。そのなかで、認知症の予防法、診断法、治療法、リハビリテーションモデル、介護モデル等の研究開発とその成果普及が推進されている^{2,3,4,5)}。現在、認知症を根治する治療法はないため、予防的側面での取り組

みは重要である。

高齢者における認知症のリスク因子として、生活習慣病に関連する高血圧、糖尿病、脂質異常症、喫煙、飲酒と頭部外傷、遺伝的要因、低学歴があげられる。一方で、運動習慣、知的活動、社会参加などは認知症のリスクを低下させることが報告されており、メンタルヘルスも含めた健康づくりや介護予防としての事業が各自治体でも推進されている。また、認知症が疑わしい状況に対して早期診断・早期対応をとることで本人と介護者たる家族への負担も軽減される。認知症の症状として、直前に起こった出来事を忘れてしまうような記憶障害、時間・場所、名前などがわからなくなる見当識障害、理解・判断の低下など脳の神経細胞の破壊によって生じる症状と、精神・性格、行動の変化などの症状から日常生活に支障をきたす。このような症状は突然発症することではなく、脳機能の低下は時間をかけて発症に向かうことが報告されている。近年、軽度認知症（Mild Cognitive Impairment: MCI）が注目されるようになっている。

MCI は、認知機能の一部に問題を抱えつつも日常生活には支障をきたさない状態であるため、発見や対応が遅くなることが懸念されている。MCI から認知症に進行する人の割合は年 10%とされ、5 年間で MCI の 40%が認知症に移行する。しかし、早期発見と対応によって、MCI の進行の抑制、回復の可能性が示唆されており、特に、

食生活や運動習慣などの生活習慣や、認知機能の維持、促進に効果的な社会参加活動への取り組みに期待が持たれている。

MCIの症状は、日常生活に顕著な支障が生じにくいことから受診につながらないことが多い。物忘れ、理解・判断力の低下などの認知機能が低下することはよく知られている。一方、MCIの症状と関連するものに視機能の低下があげられる。米国にて、Alzheimer病などの認知機能障害と視機能との関係について高齢者625人を対象に8年間以上追跡調査し、視力が良好な群では認知症を発症するリスクが63%低いことが明らかにされた⁶⁾。特に、視空間認知障害はアルツハイマー型認知症でよく認められる症状であり、認知障害と視機能の低下の関連が強く示唆されている。

他方、ヒトの脳での電気現象として脳波が発見されたのはBerger(1924)による⁷⁾。誘発加算法^{8,9)}により、体性感覚系、視覚系、聴覚系の神経伝達メカニズムが明らかになってきた。また、脳波は主に0.5Hzから30Hz成分に対して脳機能との関連が調べられてきた(表1)¹⁰⁾。しかし、fMRIなどの開発により、形態学的な計測が可能となり、脳科学研究の最先端では、脳波があまり用いられなくなっていた。近年では、多チャンネル化と高サンプリング化により、①脳波での信号源推定の精度を上げることに貢献し、Magnetoencephalography(MEG)に頼らざるを得なかったてんかん焦点の同定に期待が持たれている。②表1の周波数帯以外の成分(0.5Hz以下

や30Hz以上)に着目して調査を行うことによって、てんかんや脳神経の異常、脳神経の興奮性の研究に利用されている¹¹⁾。知覚や意識に関する γ 帯域(26-70Hz)は事象関連電位やBrain-computer Interface(BCI)などで活用が始まっている。

本研究では眼球運動を伴う視覚トレーニング(スポーツビジョントレーニング)を応用して、MCIを定量的な計測によって早期発見し、これを改善または症状の進行を抑制するための情報メディアシステムおよびそのコンテンツを開発した。ここでは、視空間脳体操3Dプログラムと呼ぶ。視空間脳体操3Dプログラムを利用した作業中の脳波を計測することにより、その生体評価を行った。

1. 開発

立体映像をはじめとする「仮想現実感」には、しばしば酔いの問題が伴う¹²⁾。我々は立体映像酔いや眼疲労を伴わない画像構成技術の可能性に関して研究成果を蓄積してきた^{13,14)}。ここでは特に、そこで培われた仮想現実および仮想現実感(Virtual Reality; VR)、拡張現実および拡張現実感(Augmented Reality)の技術の利活用を図った。

まず、視機能低下の抑制には、立体映像を利用したスポーツビジョントレーニングが有効であることを示している^{15,16)}。上述したような認知機能障害と視機能との関係を鑑みると、図1のような様式が考えられる。そこで開発されたのが視空間脳体操3Dプログラムである¹⁷⁾。この逆のフローも正しければ、本プログラムは認知機能障

表1 脳波帯域の分類

周波数帯[Hz]	脳波型	生理学的機序, 心理的活動・状態など
0.1-3	δ	皮質第5層由来. 熟眠状態(睡眠深度3-4), ノンレム睡眠, 無意識. 注意, 瞬き・眼球運動に関連する.
4-7	θ	視床, 辺縁系, 海馬由来. 直感, 創造, 想起, 空想, 夢. ピークパフォーマンス時の情報処理に関連する.
8-12	α	視床由来. リラックス, 平穏, 体性感覚運動野のアイドリング状態 ¹¹⁾ . 加齢に伴い, ピーク周波数がlow- α 側に遷移する. 白昼夢, 瞑想時にみられ, オープンアウェアネスに関連する(high- α).
12-15	low- β	感覚運動野・視床の一部由来. 睡眠深度2, 体性感覚運動野のアイドリングの前の状態 ¹¹⁾ . 感覚入力への注意, 運動出力・行動前の再考.
16-20	mid- β	思考, 問題解決, 算術.
21-30	high- β	警戒心, 興奮, 感情の強さ, 不安.
30-100	γ	運動, 精神活動, 知覚, 意識.

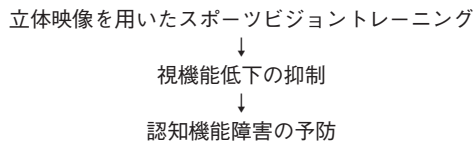


図1 本研究における概念図

害の早期発見につながることを期待される。認知機能障害は早期より立体視認が困難になると考えられる。立体視に関わる脳内プロセスを計量することで、MCIの早期発見が期待される。

視空間脳体操 3D プログラムは、図2に示す4つの立体映像コンテンツから成る。コンテンツ①

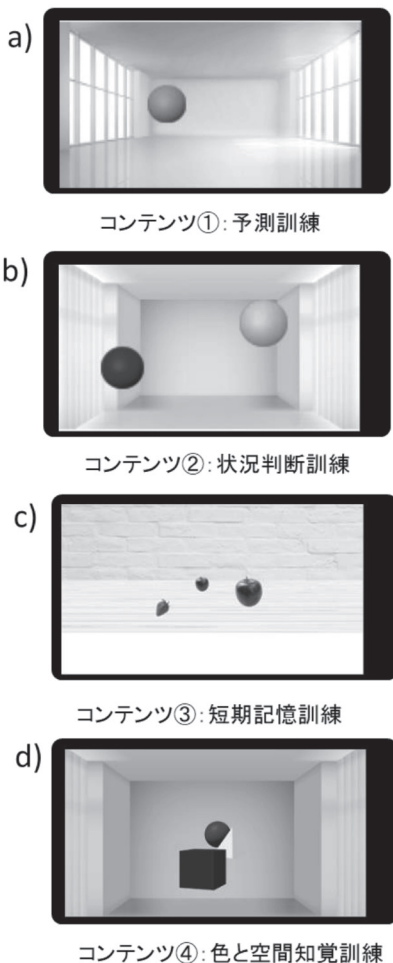


図2 開発したコンテンツの一場面; 単振子を用いた予測訓練a), 動く球体の色変化を認識する訓練b), 5種のフルーツとその個数に関する短期記憶訓練c), 色の恒常性d)

では、奥行き方向（前後）に動く振り子の球体を中心視で追従させ、最近接点で一時的に静止する時刻を予測する訓練を30回行う（図2a）。10回区切りで振り子の速さが増大する。ここでは、中心視における予測・判断の正確さを評価する。コンテンツ②では、動く球体の色変化を的確に認識する訓練を15回行う（図2b）。5回区切りで球体の速さが増大する。この訓練が進んでいくと球体の動きが画面全体に広がっていくために、周辺視にて状況判断を要求される。これは、日常生活において刻々と変化する交通場面へ適応する能力と密接な関係があると考えられる。コンテンツ③では、表示された大小が異なるフルーツの種類と数を正しく答えることで短期記憶訓練を15回行う（図2c）。5回区切りで表示される時間が短縮する。表示されたフルーツをひらがなに変換し、数字入力することで短期記憶力を強化する。コンテンツ④では、奥行き方向に配置された物体の順番を答えて、色と空間知覚の訓練を15回行う（図2d）。5回区切りで配置される物体の個数・複雑性が増大する。すなわち、色が同じで形が違う設定や明暗の違いも判断条件に加わる。②と同様に、日常生活において空間認知は欠かせないものである。

特に、コンテンツ③および④では、大小や色の恒常性の認知も介在しており、高次機能の訓練にもなっている。本研究では、健常者を対象に実験を行い、コンテンツ③の短期記憶訓練時の脳活動に注目した。実験1では、コンテンツ①の予測訓練時の脳活動との比較を行い、実験2では年齢間比較を行った。

2. 方法

額部に電極を貼付し、額脳波をサンプリング周波数128Hzにて計測した（図3）。計測には簡易脳波計 Mind Wave Mobile ((株) ニューロスカイ、東京) を用いた。窓幅を1sとし、300ms 間隔ご

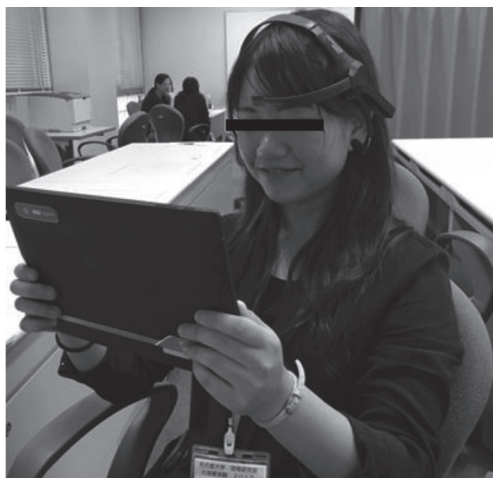


図3 実験風景および額脳波の電極貼付位置

とに Fast Fourier Transform (FFT) にて周波数解析を行った。表 1 で示した 8 つの帯域 ($\delta, \theta, \alpha, \text{low-}\beta, \text{mid-}\beta, \text{high-}\beta, \text{low-}\gamma, \text{mid-}\gamma$) ごとにパワーの積分値を算出した。ここで定式化のため、順に帯域番号 $i=1,2,\dots,8$ を付す。

実験 1

7 名の健常高齢者を対象に、視空間脳体操 3D プログラムのコンテンツ①および③を用いて作業させ、脳波を計測した。脳活動を比較検討するために、各プログラム実施時の脳波の周波数解析により 8 つの帯域ごとにパワーの積分値を算出して、補遺で示す数理・統計処理を行った。視空間脳体操 3D プログラムのコンテンツ①および③を用いた作業中の各帯域におけるスペクトルパワーの基準値 $E_i(t)$ および特徴時間の長さ T_i についてノンパラメトリック検定 (Wilcoxon の符号付順位検定) により比較した。尚、有意水準を 0.05 とした。

実験 2

163 名の健常被験者 (平均 \pm 標準偏差 ; 43.01 ± 18.78) を対象に、視空間脳体操 3D プログラムのコンテンツ③を実行させ、脳波を計測した。この周波数解析により 8 つの帯域ごとにパワーの積分値を算出し、年齢層及び得点 (正答率)

層ごとに分けた。それぞれ、6 つの階級 (20 代 : 20 から 29 歳, 30 代 : 30 から 39 歳, 40 代 : 40 から 49 歳, 50 代 : 50 から 59 歳, 60 代 : 60 から 69 歳および 70 代 : 70 歳以上と 60 点以下, 60 点台 : 60 から 69 点, 70 点台 : 70 から 79 点, 80 点台 : 80 から 89 点, 90 点台 : 90 から 99 点および 100 点) ごとに補遺で示す数理・統計処理を行った。ここでは、各帯域におけるスペクトルパワーの基準値 $E_i(t)$ および特徴時間の長さ T_i についてノンパラメトリック検定 (Kruskal-Wallis 検定) により階級間で比較し、Mann-Whitney の U 検定により多重比較を行った。尚、有意水準を 0.05 とした。

3. 結果

視空間脳体操 3D プログラムを用いた作業中のスペクトルパワー分布は、いずれも θ 波成分が著しく高い特徴をもつ。以下では、各帯域におけるスペクトルパワーの基準値を用いて、統計学的に比較する。

実験 1

視空間脳体操 3D プログラムのコンテンツ①および③を用いた作業中の各帯域におけるスペクトルパワーの基準値 $E_i(t)$ について Wilcoxon の符号付順位検定により比較した (図 4a)。その結果、コンテンツ①を用いた作業中の値に対して③を用いた作業中の値が大きい傾向を示したのは、 $\text{high-}\beta$ 波成分のみであった ($p < 0.1$)。

特徴時間の長さ T_i については、 θ 波帯域において、コンテンツ①を用いた作業中の値に対して③を用いた作業中の値が大きかった (図 4b)。加えて、 $\text{high-}\beta$ 波帯域ではスペクトルパワーの基準値と同様に統計的な傾向が認められた ($p < 0.1$)。

実験 2

視空間脳体操 3D プログラム③を用いた作業時に脳波を計測した。まず、階級ごとの被験者数を表 2, 3 に示すとともに、年齢別の得点分布を得た (図 5)。Kruskal-Wallis 検定にて年齢層間

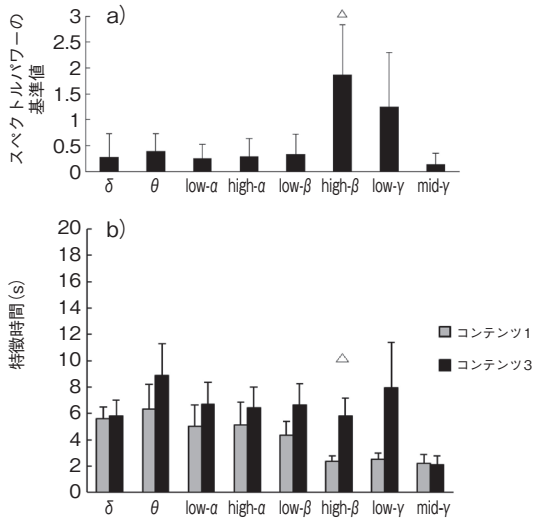


図4 実験1の結果

印はコンテンツ①を用いた作業時に対する③を用いた作業時における脳活動量(中央値)との統計的比較を示す。(△ p<0.1); 脳波帯域ごとのスペクトルパワーの基準値 a), 脳波帯域ごとの特徴時間 b)。

表2 年齢層ごとの被験者数

階級	被験者数[人]
20代	55
30代	20
40代	27
50代	26
60代	15
70代	20

表3 得点層ごとの被験者数

階級	被験者数[人]
60点以下	3
60点台	9
70点台	14
80点台	32
90点台	55
100点	50

に有意差がみられた (p<0.01)。加えて、Mann-Whitney の U 検定により多重比較を行ったところ、70代の得点の低下がみられた (p<0.1)。次に、脳波の周波数解析により8つの帯域ごとにスペクトルパワーの基準値 $E_i(t)$ および特徴時間の長さ T_i を算出し、年齢別 (図6, 7) 及び得点別 (図8, 9) に分けた。そこで、全ての階級の中央値が同等とみなせるかを Kruskal-Wallis 検定にて年齢層間および得点層間で比較した。

(1) 年齢層間比較

スペクトルパワーの基準値 $E_i(t)$ については、

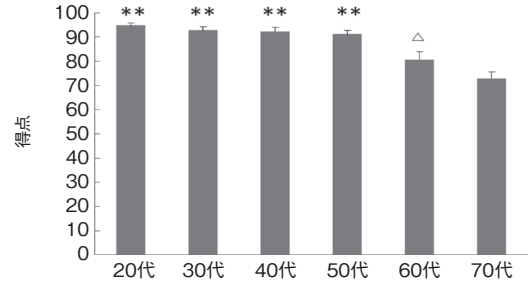


図5 年齢層ごとの得点分布 (平均±標準誤差)

印は70代中央値との統計的比較を示す(△ p<0.1, *p<0.05, **p<0.01)。

α 波帯域において有意差がみられ (p<0.05), β 波および low- γ 波帯域では統計学的な差異が特に顕著であった (p<0.01)。 δ 波帯域についても有意傾向が認められた (p<0.1)。多重比較においては、30, 40, 60代に比べて70代の δ 波成分は有意に低く (p<0.05), 70代の α 波および β 波成分は他の年齢層と比べて高値を示した (図6)。low- γ 波成分についても同様な結果がみられた。

また、特徴時間の長さ T_i については、基準値に比べて差異が小さく見積もられた。Kruskal-Wallis 検定の結果、high- α 波および β 波および low- γ 波帯域において有意差がみられた (p<0.05)。low- α 波帯域についても有意傾向が認められた (p<0.1)。多重比較については、30, 40, 60代に比べて70代の δ 波の特徴時間は有意に短く (p<0.05), 70代の α 波および β 波の特徴時間は他の年齢層と比べて長かった (図7)。特に、20-40代の有意性が示された (p<0.05)。low- γ 波の特徴時間についても同様な結果がみられた。しかし、 θ 波の特徴時間はいずれの年齢層においても検出することができなかった。

(2) 得点別比較

スペクトルパワーの基準値 $E_i(t)$ については、 β 波および low- γ 波帯域において有意差がみられ (p<0.05), δ 波帯域についても有意傾向が認められた (p<0.1)。多重比較においては、70-90点台に比べて60点以下の δ 波成分は有意に低く (p<0.05), 60点以下の high- α 波および β 波

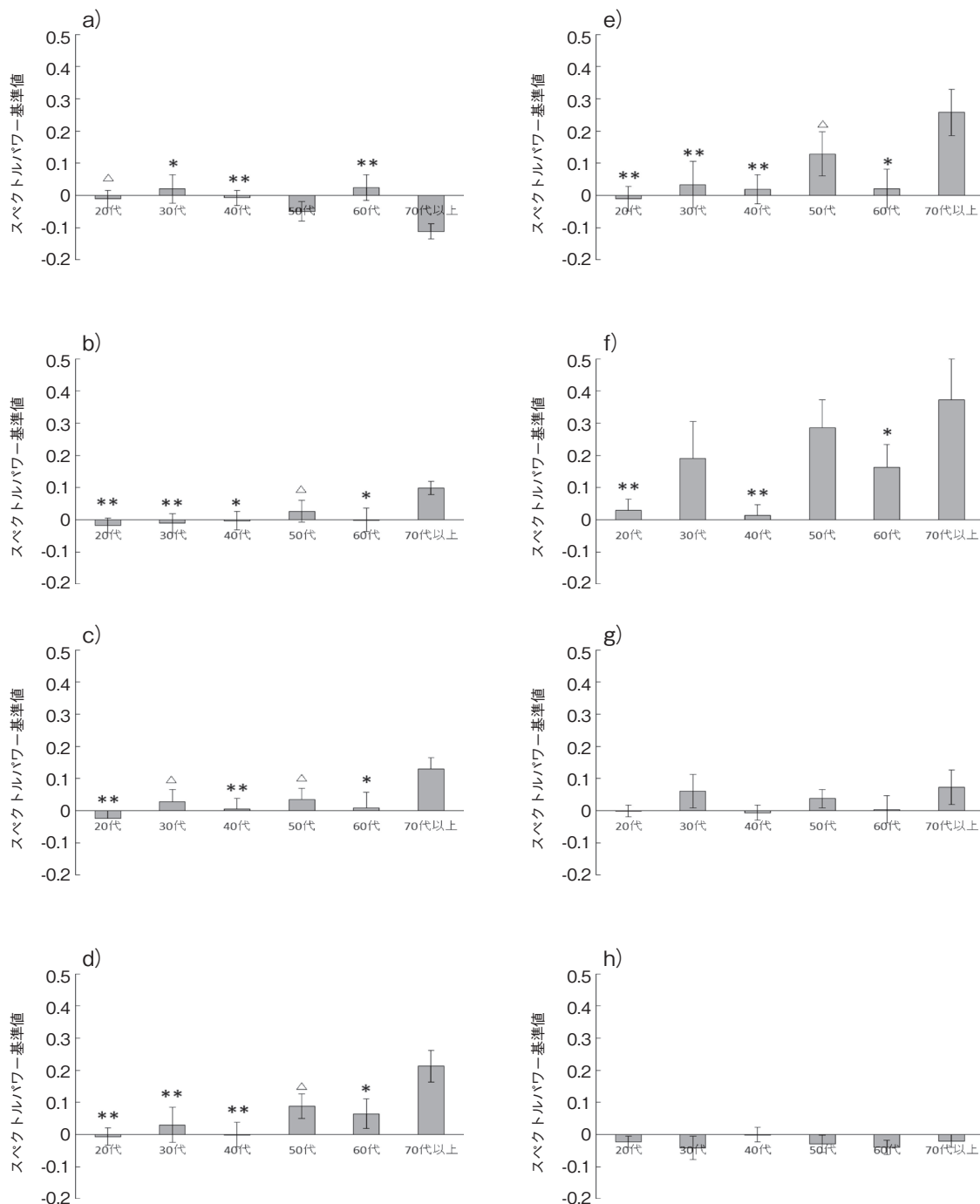


図6 脳波の各周波数帯域におけるスペクトルパワーの基準値 $E_i(t)$ に関する年齢層間比較

印は70代の年齢層に対する他の年齢層におけるスペクトルパワーの基準値(中央値)の統計的比較を示す。(△ $p<0.1$, * $p<0.05$, ** $p<0.01$) ; δ 波帯域a), low- a 波帯域b), high- a 波帯域c), low- β 波帯域d), high- β 波帯域e), low- γ 波帯域f), mid- γ 波帯域g), θ 波帯域h) .

成分は他の得点層と比べて高値を示した (図8). low- γ 波成分についても同様な結果がみられた.

また, 特徴時間の長さ T_i については, Kruskal-

Wallis 検定の結果, high- a 波および β 波および low- γ 波帯域において有意差がみられた ($p<0.05$). low- a 帯域についても有意傾向が認め

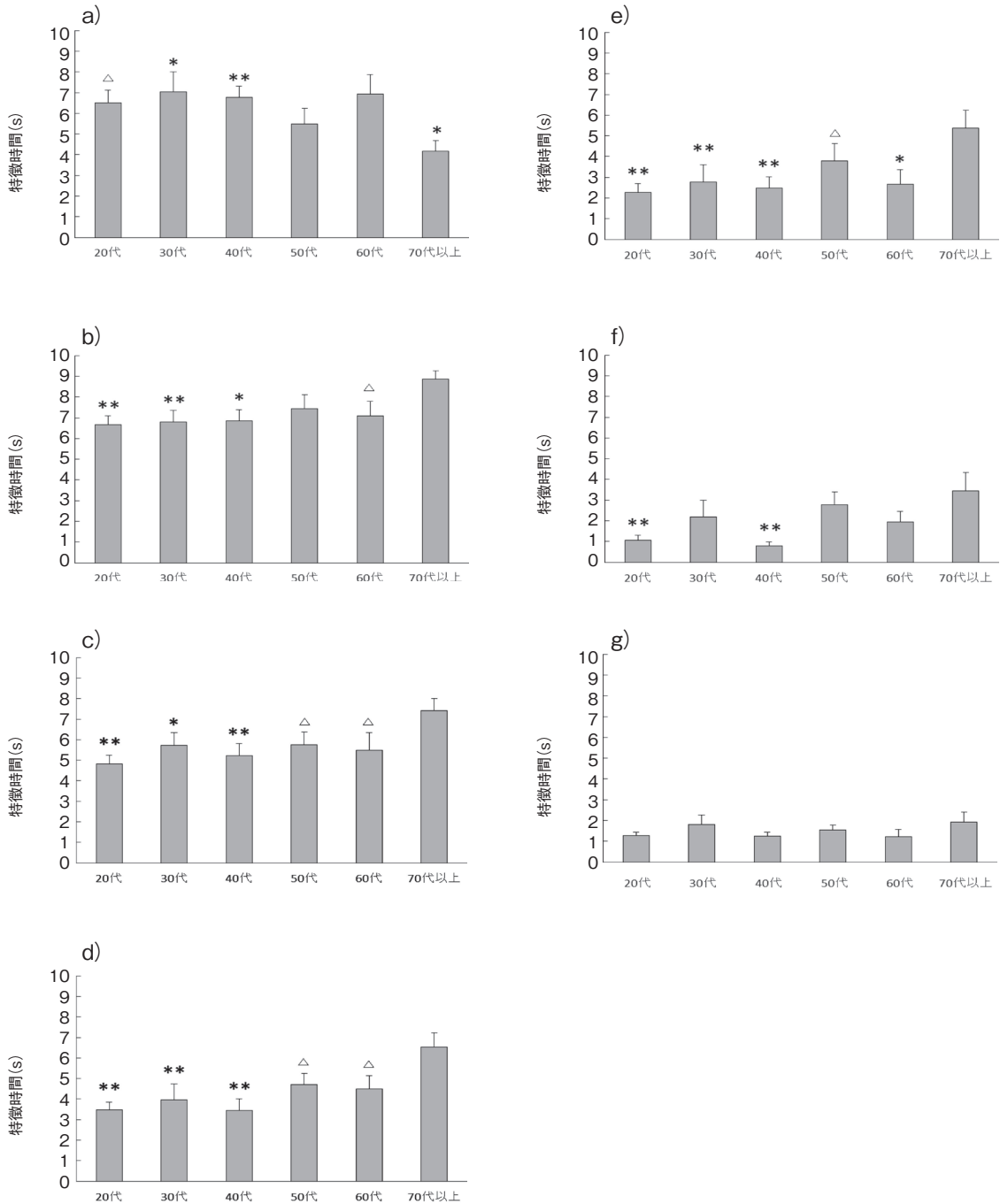


図7 脳波の各周波数帯域における特徴時間の長さ T_c に関する年齢層間比較

印は70代の年齢層に対する他の年齢層における特徴時間の長さ(中央値)の統計的比較を示す。(△ $p < 0.1$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$): δ 波帯域a), low- α 波帯域b), high- α 波帯域c), low- β 波帯域d), high- β 波帯域e), low- γ 波帯域f), mid- γ 波帯域g)

られた ($p < 0.1$). 多重比較については、70-100 点台に比べて60点以下の δ 波の特徴時間は有意に短く ($p < 0.05$), 60点以下の high- α 波および β

波の特徴時間は他の得点層と比べて長かった (図9). 特に、70点以上の階層との有意性が示された ($p < 0.05$). low- γ 波の特徴時間についても同

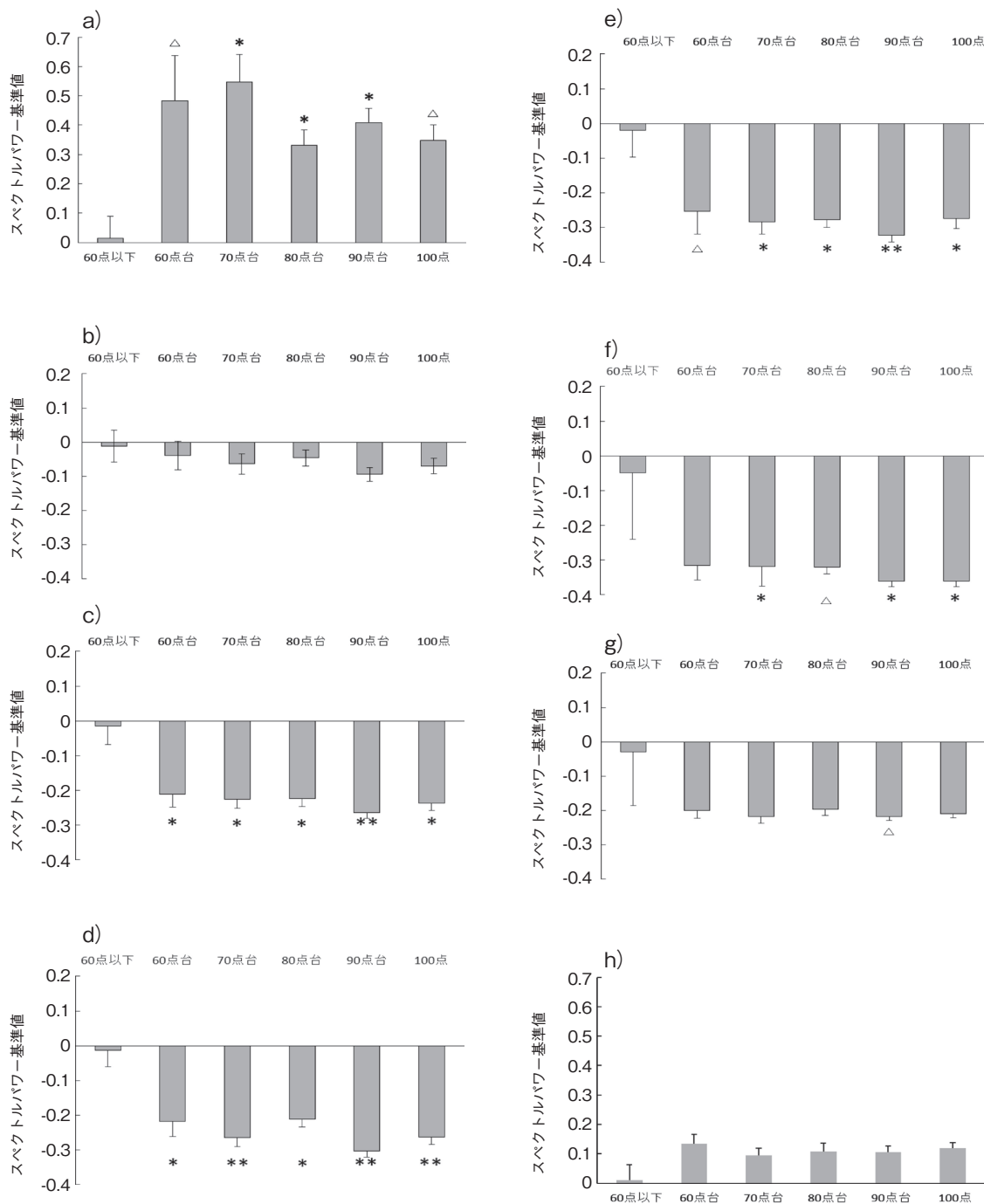


図8 脳波の各周波数帯域におけるスペクトルパワーの基準値 $E_i(t)$ に関する得点層間比較
 印は 60点以下の得点層に対する他の得点層におけるスペクトルパワーの基準値(中央値)の統計的比較を示す。(Δ $p < 0.1$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$); δ波帯域a), low-α波帯域b), high-α波帯域c), low-β波帯域d), high-β波帯域e), low-γ波帯域f), mid-γ波帯域g), θ波帯域h)

様な結果がみられた。

4. 考 察

本研究で開発された視空間脳体操 3D プログ

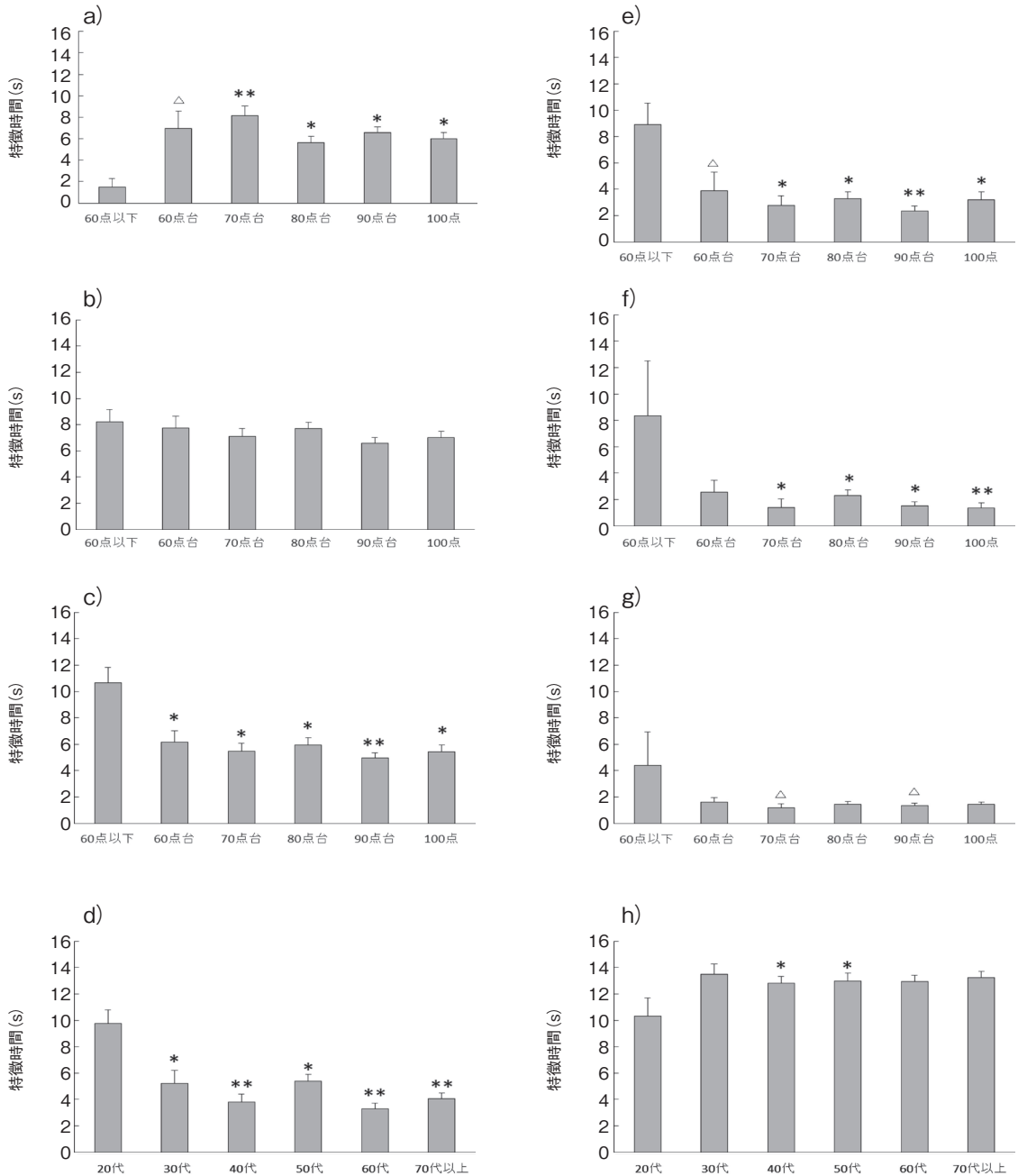


図9 脳波の各周波数帯域における特徴時間の長さ T_i に関する得点層間比較

印は60点以下の得点層に対する他の得点層における特徴時間の長さ(中央値)の統計的比較を示す。(Δ $p < 0.1$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$) ; δ波帯域a), low-α波帯域b), high-α波帯域c), low-β波帯域d), high-β波帯域e), low-γ波帯域f), mid-γ波帯域g), θ波帯域h)

ラム及びそのコンテンツは、スポーツビジョントレーニングを応用したものであり、MCIをパフォーマンス評価によって早期発見し、これを改善または症状の進行を抑制することを目論んでい

る。視空間脳体操3Dプログラムのコンテンツを用いた作業時に計測した脳波の数理・統計解析結果にもとづくと、いずれのスペクトルパワー分布もθ波成分が著しく大きい特徴をもつことから

上述の目的に沿うものであると考えられた。また、実験1によりコンテンツ③を用いた作業時には θ 波帯域の特徴時間の長さ T_f が長く、想起に関わる脳活動を行っていると考えられる。このとき、high- β 波帯域の統計量はいずれも高値を示す傾向があり ($p < 0.1$)、コンテンツ③は被験者に過度な集中を与えることにも成功しており、一定のトレーニング効果も期待される。

本研究では被験者数を増大させるとともに後述する介護施設においても計測を行うことから、脳波測定効率化を図る必要があったため、上述の簡易脳波計を使用した。この簡易脳波計については他の医用脳波計との比較が既になされており、計測精度が担保されている¹⁸⁾。さらに、この機器を用いた応用研究も散見される^{19,20,21)}。

両眼視差にもとづいて奥行きを知覚する能力を両眼立体視という。これは左右一对の2次元網膜像から外界に関する一つの3次元構造を再構成する過程である。両眼視差の検出は一次視覚野 V1 で行われ、そのメカニズムはかなり解明されている²²⁾。それ以降の両眼奥行き知覚に関する情報処理過程が近年、研究されている。背側視覚経路に属する MT 野の細胞がある種の奥行き知覚課題に機能的に関わっているものの、相対視差に依存した情報の伝達には関与していない²³⁾。従来、腹側視覚経路の V4 野、TE 野は形や色といった視覚の2次元的特徴を処理すると考えられてきたが、側頭葉視覚経路の後半部の細胞が相対視差の検出を必要とする細かい奥行き弁別に関与している可能性が示唆されている。

一方、認知症の中でアルツハイマー病が一番多い²⁴⁾。アルツハイマー病では高次視覚機能に関係した側頭葉連合野と頭頂連合野の萎縮が著明である^{25,26)}とともに、後者の代謝・血流の低下も指摘されている²⁷⁾。認知症では、記憶や認知など主として側頭葉連合野がかかわる高次視覚機能が障害される。また、視空間の把握や視空間に中

の配置された対象物へのリーチングや対象物の操作など頭頂連合野が主として関与する高次視覚機能についても障害される。実際、認知症ではこの両方の障害が見られる²⁸⁾。他方、認知症の検査や認知症予防のパラダイムとして側頭葉連合野の機能が注目されることが多く、頭頂連合野の機能についてのテストや認知症予防のパラダイムは確立していない。そこで、本研究では立体視に着目して、スポーツビジョントレーニングを取り入れた視空間脳体操 3D プログラムを開発した。

実験2では、階級間で比較を行った結果、認知能力に関わるとされる θ 波の帯域では、スペクトルパワーの基準値および特徴時間の長さについて有意差がみられなかった (図 6h, 8h, 9h)。このことから、仮想現実感を用いた視空間脳体操 3D プログラムを用いた作業時には、年齢層や得点層に関わらず、想起や認知を行っている可能性が示唆された。

また図 6a, 7a より、70 代の δ 波で特徴付けられる脳活動量は他の年齢層と比べて低い ($p < 0.1$) 一方で、70 代の α 波、 β 波および low- β 波で特徴付けられる脳活動量は他の年齢層のそれと比べて高い (図 7)。70 歳以上の高齢者は、注意や眼球運動の能力が低下している反面、 δ 波と異なる帯域で特徴付けられる脳活動で、それを補うようなことをしている可能性がある。同様に図 9a より、低パフォーマンスを示す 60 点以下の被験者の δ 波で特徴付けられる脳活動量は他の年齢層と比べて低い ($p < 0.05$) 一方で、同被験者群の α 波、 β 波および low- β 波で特徴付けられる脳活動量は他の得点群のそれと比べて高い (図 8)。低パフォーマンスを示す 60 点以下の被験者は 70 歳以上の高齢者に多くみられるものの、上述した脳活動の様式を行っているものと考えられる。

逆に言うと、高得点層は 60 点以下の階級に比べて、 δ 波成分の統計量 (中央値) が有意に大

きいことから ($p < 0.05$), 想起・認知の過程で眼球運動が賦活化していると考えられる。60点以下の階級を除いた比較においては, 高得点層の方が眼球運動は抑えられており (図 8a), 少ない眼球運動で多くの情報を得ていると考えられる。

介護施設の協力および要介護者 61 名の同意を得て, 実験 2 と同様な計測を既に行っている。解析結果は次稿に譲るが, 上述の 70 代および 60 点以下の被験者の脳波が示す性質が際立ってみられる。今後は, 近赤外分光法 (fNIRS) による同時計測も取り入れて, 多角的に脳活動を計測して, 生理学的な意味づけを行っていきたい。

5. 結 語

本研究で開発された視空間脳体操 3D プログラム及びそのコンテンツは, スポーツビジョントレーニングを応用したものであり, MCI をパフォーマンス評価によって早期発見し, これを改善または症状の進行を抑制することが期待される。視空間脳体操 3D プログラムのコンテンツを用いた作業時に計測した額脳波の数理・統計解析結果にもとづくと, いずれのスペクトルパワー分布も θ 波成分が著しく大きい特徴をもつことなどから上述の目的に沿うものであると考えられた。また, 70 歳以上の高齢者は, 注意や眼球運動の能力が低下している反面, δ 波と異なる帯域で特徴づけられる脳活動で, それを補うようなことをしている可能性が示唆された。

謝 辞

本研究に対し助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 内閣府 . 平成 29 年版高齢社会白書
- 2) Wilson R. S., Boyle P. A., Yu L., Barnes L. L.,

Schneider J. A., Bennett D. A. Life-span cognitive activity, neuropathologic burden, and cognitive aging. *Neurology.*, **81** (4): 314-21 (2013). doi: 10.1212/WNL.0b013e31829c5e8a

- 3) Toba K., Nakamura Y., Endo H., Okochi J., Tanaka Y., Inaniwa C., Takahashi A., Tsunoda N., Higashi K., Hirai M., Hirakawa H., Yamada S., Maki Y., Yamaguchi T., Yamaguchi H. Intensive rehabilitation for dementia improved cognitive function and reduced behavioral disturbance in geriatric health service facilities in Japan. *Geriatr. Gerontol. Int.*, **14** (1): 206-211 (2014). doi: 10.1111/ggi.12080
- 4) Buford T. W., Roberts M. D., Church T. S. Toward exercise as personalized medicine. *Sports Med.*, **43** (3): 157-65 (2013). doi: 10.1007/s40279-013-0018-0
- 5) Persoon A., Banningh L., van de Vrie W., Rikkert M. O., van Achterberg T. Development of the Nurses' Observation Scale for Cognitive Abilities (NOSCA). *ISRN Nurs.* 2011,895082 (2011). doi: 10.5402/2011/895082
- 6) Rogers M. A. M., Langa K. M., Untreated Poor Vision: A Contributing Factor to Late-Life Dementia, *Am. J. Epidemiol.*, **171** (6), 728-735 (2010)
- 7) Berger H. Über das Elektroenkephalogramm des Menschen, *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, **87**, 527-570 (1929)
- 8) Smith J. S. The Electroencephalogram during normal infancy and childhood: II. Nature of the growth of the alpha wave, *J. Genet. Psychol.*, **53**, 455 (1938)
- 9) Smith J. S. The Electroencephalogram during normal Infancy and childhood: I. Preliminary observations on the pattern sequence during sleep, *J. Genet. Psychol.*, **53**, 471 (1938)
- 10) Pfurtscheller G., Stancak A., N. Event-related synchronization (ERS) in the alpha band-an electrophysiological correlate of cortical idling: a review, *Int. J. Psychophysiol.*, **24** (1-2), 39-46 (1996)
- 11) Ochi A., Otsubo H., Donner E. J., Elliott I, Iwata R., Funaki T., Akizuki Y., Akiyama T., Imai K., Rutka J. T., Snead O. C. 3rd. Dynamic Changes of Ictal High-Frequency Oscillations in Neocortical Epilepsy: Using Multiple Band Frequency Analysis. *Epilepsia* **48**, 2, 286-296 (2007)

- 12) LaViola J. J. Jr. A discussion of cybersickness in virtual environments, *ACM SIGCHI Bulletin.*, **32**, 47-56 (2000). doi:10.1145/333329.333344
- 13) Takada M., Fukui Y., Matsuura Y., Sato M., Takada H., Peripheral viewing during exposure to a 2D/3D video clip: effects on the human body, *Environ Health Prev. Med.*, **20**(2): 79-89 (2015)
- 14) Takada H., Miyao M., Visual Fatigue and Motion Sickness Induced by 3D Video Clip, *Forma*, **27**: S67-S76 (2012)
- 15) Sugiura A., Miyao M., Yamamoto T., Takada H. Effect of strategic accommodation training by wide stereoscopic movie presentation on myopic young people of visual acuity and asthenopia, *Displays*, **32** (4): 219-224 (2011)
- 16) Takada M., Miyao M., Satoh M., Yoshikawa K., Matsuura Y., Takada H. Effect of Accommodation Training on Visual Function of Visual Inspection Workers and Middle-aged People. *J. Sports Med. Doping Stud.*, **2**(3): 112 (2012). doi:10.4172/2161-0673.1000112
- 17) 田原博史. 軽度認知症の早期発見・予防プログラム及びシステム. 特許第 6229867号(2017)
- 18) Ratti E., Waninger S., Berka C., Ruffini G., Verma A. Comparison of Medical and Consumer Wireless EEG Systems for Use in Clinical Trials, *Front Hum Neurosci.*, **11**: 398. (2017) doi:10.3389/fnhum.2017.00398
- 19) Johnstone S. J., Roodenrys S., Blackman R., Johnston E., Loveday K., Mantz S., Barratt M. F. Neurocognitive training for children with and without AD/HD, *ADHD Atten. Def. Hyp. Disord.*, **4**:11-23(2012). doi: 10.1007/s12402-011-0069-8
- 20) Haapalainen E., Kim S. J., Forlizzi J. F., Dey A. K. Psycho-Physiological Measures for Assessing Cognitive Load. UbiComp '10 Proc. the 12th ACM int. conf. Ubiquitous comp. 301-310(2010)
- 21) Mendez G. R., Dunwell I., Mirón E. A. M., Cerdán M. D. V., de Freitas S., Liarokapis F., Gaona A. R. G. Assessing NeuroSky's Usability to Detect Attention Levels in an Assessment Exercise. *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)* **5610**: 149-158 (2009).
- 22) Ohzawa I. Mechanisms of stereoscopic vision: the disparity energy model, *Curr. Opinion Neurobiol.*, **8**: 509-515 (1998)
- 23) 藤田一郎. 視覚の主観性を支える神経活動—両眼立体視を例に. *生体の科学*, **57**(1): 44-50 (2006)
- 24) 厚生労働省. 平成 28年版厚生労働白書
- 25) 松田博史. アルツハイマー病の画像診断. *日老医誌*. **49**:425-430(2912)
- 26) Ferreira L. K., Diniz B. S., Forlenza O. V., Busatto G. F., Zanetti M. V. Neurostructural predictors of Alzheimer's disease: a meta-analysis of VBM studies, *Neurobiol. Aging.*, **32**(10): 1733-1741 (2011). doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2009.11.008
- 27) Hirao K., Ohnishi T., Hirata Y., Yamashita F., Mori T., Moriguchi Y, Matsuda H, Nemoto K, Imabayashi E, Yamada M, Iwamoto T, Arima K, Asada T. The prediction of rapid conversion to Alzheimer's disease in mild cognitive impairment using regional cerebral blood flow SPECT, *Neuroimage.*, **28**(4): 1014-1021 (2005)
- 28) Handa T., Mikami A. Neuronal correlates of motion-defined shape perception in primate dorsal and ventral streams, *Euro. J. Neurosci.*, 2018:1-15 (2018). doi: 10.1111/ejn.14121

補遺

計測した脳波について実験ごとに比較検討するため、脳波の各帯域におけるスペクトルパワーに対して以下の数理・統計処理を行った。

- 1) 実験 1では視空間脳体操 3Dプログラムのコンテンツ①実施時の全被験者に対して、実験 2では基準とする 40代および 60点以下の階級に対して、各帯域におけるスペクトルパワーの積分値の平均 m_i および標準偏差 σ_i を求めた($i=1,2,\dots,8$)。
- 2) 被験者ごとに各帯域におけるスペクトルパワーの積分値 $\hat{E}_i(t)$ を前項で求めた m_i, σ_i を用いて以下のように基準化した。

$$E_i(t) = \frac{\hat{E}_i(t) - m_i}{\sigma_i} \quad (i=1,2,\dots,8)$$

この値を各帯域におけるスペクトルパワーの基準値と呼ぶ。

- 3) 各帯域のスペクトルパワーが増加して $E_i(t) > 2\sigma_i$ となり、帯域ごとに特徴づけられる脳活動が極端に増大する時間の長さ \hat{T}_i を被験者ごとに算出した。視空間脳体操 3Dプログラムのコンテンツ③は開始後パフォーマンスが終了するまでの時間が被験者ごとに異なるため、この特筆すべき時間の長さを、計測 1分あたりの時間 T_i に変換した。この値を各帯域における特徴時間の長さと呼ぶ。