

3Dゲーム使用の視覚系神経機能 に及ぼす影響

西村 雄宏・岩田 豊人・村田 勝敬

秋田大学大学院医学系研究科環境保健学講座

Effects of 3-dimensional video games on visual nervous function

Katsuhiro Nishimura, Toyoto Iwata, Katsuyuki Murata

Department of Environmental Health Sciences, Akita University Graduate School of Medicine

Abstract

In order to assess the effects of 3-dimensional (3D) video games on human visual nervous function, near-point distance, visual evoked potentials and critical flicker fusion, along with subjective symptoms on visual fatigue, were measured before and after playing 3D- or 2D-video game for two hours. The subjects were 10 healthy male students aged 20-23 years. The subjective symptoms of fatigue related to “drowsiness and dullness” and “projection of physical impairment” significantly increased after playing 3D-video games. Similarly, the near-point distance of the left eye was significantly longer after playing 3D-video games. However, there were no significant changes in other parameters in playing 3D- or 2D-video games. Despite this limited evidence, these findings suggest that viewing television with the 3D technology at home may lead to visual fatigue, like a VDT-related asthenopia. Also, near-point distance appears to be an objective and promising method for assessing short-term visual fatigue.

Key words: 3-dimensional display, visual fatigue, near point distance, objective assessment

はじめに

3次元(3D)映画「アバター」の大ヒットを皮切りに、日本では3D映像が一大ブームを巻き起こしている^{1,2)}。2010年は「3D元年」とも呼ばれ、日本の各電機メーカーも次々と3Dテレビを発売し、2010

FIFAワールドカップの日本対オランダ戦においても一部の衛星放送で日本初の3D中継が行われた。テレビや映画に限らず、ゲーム機も3D化が進められ、3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)技術を駆使してほぼ現実に近い動きや風景が映し出されるゲームソフトが次々と発売されている。最近の3D映像は専用眼鏡をかけて見ることで、従来の赤青メガネによる立体映像よりも遥かに奥行きがあり、臨場感あふれる映像を体感することができるという。かかる技術革新の中において、科学技術の健康や安全に対する潜在的な負の側面も同時に検討する必要がある。

3D映像の普及の傍らで、3D映像の視聴による健

Correspondence: Katsuyuki Murata

Department of Environmental Health Sciences, Akita University Graduate School of Medicine, 1-1-1 Hondo, Akita 010-8543, Japan

Tel: +81-18-884-6085 Fax: +81-18-836-2608

E-mail: winestem@med.akita-u.ac.jp

康上の影響が懸念されている³⁾。実際、映画「アバター」を3Dで鑑賞して、車酔いのような感覚(3D酔い)に陥ったという感想がインターネット上で散見される。3D映像視聴に関連した安全ガイドラインも提唱され⁴⁾、韓国のSamsung電子は、子供、妊婦、高齢者また飲酒時などは3D視聴に関連する健康上の影響を受けやすいので視聴を控えるよう、注意事項をインターネット上に公開している⁵⁾。また、長時間3D画面を見続けるVDT (visual display terminal) 作業において、極度の頭痛や眼精疲労が生じた事例も報告されている⁶⁾。このように、3D映像の視聴が健康被害をもたらす可能性は示唆されているが^{3,7)}、客観的測定方法でヒトへの健康影響を評価した報告はきわめて少ない。

これまでの研究の多くが職場の2D画面のVDT作業に関わる健康影響であったが^{6,8)}、3D映像の一般家庭への普及が浸透しつつある今日において、3D映像視聴による人体への影響は早急に明らかにされるべき喫緊の課題である。第一弾として、本研究では3Dビデオゲーム(以下、3Dゲームと略す)使用による視覚系神経機能への客観的影響を、2Dビデオゲーム(同、2Dゲーム)の時と比較検討した。

対象と方法

対象

秋田大学に在籍する20歳代(20~23歳)の健康男子学生10名を被検者とした。習慣的にVDT作業に従事しているものはいなかった。同一被検者には、異なる日に3Dゲームと2Dゲームを、各々2時間使用してもらった。いずれの被検者も当該ゲームの使用は初めてか、あるいは過去に数回使用した経験がある程度であった。研究は医学部3年の基礎配属期間中に行われ、被検者に事前に十分な説明をし、同意を得た後実施した。

方法

本研究で用いた課題は3Dゲームの2時間遂行と、対照としての2Dゲームの2時間遂行である。3Dゲーム(Call of Duty 4: Modern Warfare, PS3)は、専用眼鏡をかけて立体映像を見る方式でなく、裸眼でゲーム内の主人公から見た視界が3DCGで立体的に表示される一人称視点のゲームである(図1)。被検者の操作に合わせて画面内の映像が視点を動かすような感覚で3次元的に動き、2D画面でありながらリアルな“奥行き”を表現することで3D映像を視聴するのに近い感覚が得られる。対照の2Dゲーム(実況パワフルプロ野球12サクセスモード, PS2)は、終始平面的な画面で進行するゲームであり、3D映像のような3次元感覚は全く得られない。このゲームに用いられた表示装置は23インチ液晶ディスプレイ(LGエレクトロニクス、FLATRON Wide LCD)であった。

図1 3Dゲーム課題の遂行光景



無作為に選ばれた被検者5名は最初に3Dゲーム、残り5名は最初に2Dゲームで行った。各々のゲーム遂行の開始前と終了直後に、近点距離、視覚誘発電位、フリッカー(critical flicker fusion)および視力の測定と、疲労に関する自覚症状調査を行った(総計4回の測定)。なお、被検者間でゲームを行う時間帯は異なったが、同一被検者の2回のゲーム遂行を開始する時刻はほぼ同じになるよう設定した。

近点距離はVDT近点計(東洋メディカル社製NP-200)を用いて測定した^{6,8)}。測定器は被検者の眼前30cmに置かれた指標(“あ”と記載された板)が一定の速度で近づいてくるようにセットされており、被検者は片目で指標の“あ”の文字を注視し、明瞭に見えていた文字が徐々に近づいて不明瞭に見えた(すなわち、ピントが合わなくなった)時点でボタンを押してもらった。この操作を左右の眼で3回ずつ計6回行った。測定された近点距離の最大値と最小値の差が3cm未満の場合は3回分の、3cm以上の場合は外れ値(最大値あるいは最小値の内、中央値との差が大きい方)を除いた2回分の平均値(cm)を算出した。この指標は眼調節機能を含む眼精疲労を表すと考えられているが、その他にも瞳孔径等の変化も反映する可能性も示唆されている⁹⁾。

視覚誘発電位(visual evoked potential)の測定は誘発脳波計(日本光電Neuropack μ)と17インチの白黒テレビ(Sony製)を用い、電氣的にシールドされた暗室の中で被検者にテレビ画面に対し視角が16度となるように座らせ、両眼を開眼して画面(刺激野)中心にある目印を固視させて行った^{6,8)}。刺激は白黒のチェッカーボード(市松)模様(1格子の大きさは視角50分:平均照度は白部分が 170 cd/m^2 、黒部分が 4 cd/m^2)の反転刺激を每秒2回の頻度で約200回加えた。視覚誘発電位は後頭正中部(記録電極)、前頭正中部(基準電極)および乳様突起部(アース)に置いた円板電極より導出し、周波数特性2~100Hzの増幅器で増幅および加算平均して波形を得た。測定は2回行われ、2つの波形で再現性を確認した後、両波形の平均頂点潜時(N75、P100、N145、単位ms)

表 1. 自覚症状チェックシート

記入日 月 日 時 分頃

氏名

あてはまる方に○をつけて下さい
 ゲームソフト {3D・2D} 課題遂行 {前・後}

いまのあなたの状態についてお聞きします。
 次のようなことがあったら○、なければ×を、□の中につけて下さい。

1	頭が痛い		11	考えがまとまらない		21	頭が痛い	
2	全身がだるい		12	話をするのがいやになる		22	肩がこる	
3	足がだるい		13	いらいらする		23	腰が痛い	
4	あくびが出る		14	気が散る		24	息苦しい	
5	頭がぼんやりする		15	物事に熱心になれない		25	口が渇く	
6	ねむい		16	ちょっとしたことが思い出せない		26	声がかすれる	
7	目が疲れる		17	することに間違いが多くなる		27	めまいがする	
8	動作がぎこちなくなる		18	物事が気にかかる		28	まぶたや筋がびくびくする	
9	足もとが頼りない		19	きちんとしていられない		29	手足がふるえる	
10	横になりたい		20	根気がなくなる		30	気分が悪い	

を測定した¹⁰⁾。このうち、P100 潜時は網膜から後頭葉皮質までの視覚求心路を経て視覚中枢へ至る伝導系の機能を反映すると考えられている¹¹⁾。

フリッカー検査はフリッカー測定装置 (OG 技研製 Digital Flicker CE-2) を用いて測定した^{6,8)}。発光ダイオードの点滅が周波数 60 Hz から一定速度で (1 Hz まで) 連続的に変化するように設計されている装置を顔面に当てて両眼で発光部を見つめ、発光ダイオードの点滅が認知できた時点でボタンを押してもらった。この操作を 3 回反復し、3 回の平均値 (Hz) を算出した。この指標は、網膜、視神経などの視交叉までの視覚経路及び中枢神経系の活動度を反映すると考えられている^{12,13)}。

自覚症状チェックシート (表 1) を各々のゲームの使用前後の神経生理学検査前に被検者に渡し、その場でその時の身体状態を記入してもらった。全 30 問からなるチェックシートは、吉武の調査により、「眠気・だるさ」(問 1~10)、「注意集中の困難」(問 11~20)、「身体違和感」(問 21~30) の 3 要因に分類されている¹⁴⁾。記入された「○」の数を自覚症状数とし、各要因の自覚症状の平均数を算出した。また、視力は自動視力計 (Canon CV-20) で測定した。

統計的方法

得られたデータは、3D ゲームおよび 2D ゲーム毎に対応のある t 検定を用いて比較した。統計解析には SPBS 統計パッケージを用い、 $P < 0.05$ を統計的に“有意”とした¹⁵⁾。

結 果

3D ゲームおよび 2D ゲーム遂行の前後の検査成績を表 2、3 に示す。3D ゲーム遂行の前後で、「眠気・だるさ」および「身体違和感」に関する自覚症状数が有意に増加していた (表 2)。同様に、近点距離は左眼近点距離のみが 3D ゲームの遂行後に有意に延長していた。その他の視覚誘発電位 (N75、P100、N145) 潜時およびフリッカー値は 3D ゲーム遂行の前後で有意な変化は見られなかった。また、2D ゲーム遂行の前後も検査値における有意な変化はなかった (表 3)。両ゲームの遂行に際して視力の有意な変動はなかった ($P > 0.05$)。

考 察

雲仙普賢岳の噴火による火砕流後の警戒区域内に置かれた大型パワーシャベルを 3D 画面前で遠隔操作していた運転作業員が作業開始 1 ヶ月後に激しい眼痛と頭痛に襲われ、働くことができなくなった事例が過去に報告されている^{3,6)}。本研究は「3D 画面の視聴は視覚系神経機能に生理学的影響を及ぼす」という仮説を設け、健常青年を対象に 3D と 2D のゲームを 2 回使用してもらい、その前後に近点距離、視覚誘発電位、フリッカー値を測定することによって視覚系神経機能を評価した。その結果、わずか 2 時間の 3D ゲームの遂行で、自覚症状とともに、一部ではあるが軽度の客観的影響を検出した。本研究で用いた 3D ゲームは、専用眼鏡を着用する 3D テレビや 3D 映画と異なり 3 次元空間の奥行きが浅く、裸眼での使用のため視覚系神経機能への負担も少ないと考えられる。これらを勘案すると、専用眼鏡の着用を要する 3D テレビの長時間鑑賞は家庭における新たな

表 2. 3D ゲームの課題遂行 (2 時間) 前後の検査成績 (10 名)

	開始前 (平均、範囲)		終了後 (平均、範囲)		Δ 値 (平均±標準偏差)
自覚症状数:					
ねむけ・だるさ	1.6	(0~4)	3.2	(1~7)	1.6 ± 2.0*
注意集中の困難	0.5	(0~2)	0.8	(0~4)	0.3 ± 1.0
身体違和感	0.6	(0~2)	1.3	(1~3)	0.7 ± 0.7**
近点距離 (cm):					
右眼	9.7	(7.8~12.3)	10.2	(7.5~13.7)	0.5 ± 0.8
左眼	9.3	(7.2~12.2)	10.1	(7.7~12.4)	0.8 ± 0.8**
視覚誘発電位潜時 (ms):					
N75	76.7	(70.5~85.5)	77.5	(72.0~84.9)	0.9 ± 4.3
P100	100.0	(93.3~126)	99.9	(90.3~123)	-0.1 ± 3.4
N145	135.2	(111~164)	134.8	(113~162)	-0.4 ± 3.4
フリッカー値 (Hz):	43.2	(39.4~46.3)	43.6	(36.5~46.5)	0.4 ± 1.7

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ (Paired t -test).

表 3. 2D ゲームの課題遂行 (2 時間) 前後の検査成績 (10 名)

	開始前 (平均、範囲)		終了後 (平均、範囲)		Δ 値 (平均±標準偏差)
自覚症状数:					
ねむけ・だるさ	2.4	(0~6)	2.9	(0~8)	0.5 ± 2.0
注意集中の困難	0.2	(0~1)	0.5	(0~3)	0.3 ± 0.8
身体違和感	0.3	(0~1)	0.9	(0~4)	0.6 ± 1.0
近点距離 (cm):					
右眼	9.8	(7.2~12.4)	10.5	(7.8~12.8)	0.7 ± 1.2
左眼	9.5	(7.7~11.9)	10.0	(7.7~12.4)	0.5 ± 0.8
視覚誘発電位潜時 (ms):					
N75	75.6	(67.5~86.1)	76.3	(69.6~85.5)	0.7 ± 2.9
P100	100.3	(92.7~117)	101.1	(94.2~121)	0.8 ± 2.8
N145	139.8	(112~172)	139.0	(114~172)	-0.8 ± 2.5
フリッカー値 (Hz):	42.7	(39.3~45.7)	43.0	(38.1~45.8)	0.3 ± 1.1

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ (Paired t -test).

VDT 障害を引き起こす可能性を秘めていると推定される。

今回の研究で、3D ゲームの遂行後「眠気・だるさ」と「身体違和感」に関連する自覚症状が現れた。これらは 3D 映画鑑賞後の所謂「車酔いのような感覚」に似た訴えと思われる。別の報告で、日々データ入力業務を行っている女性社員において VDT 作業前後で「眠気・だるさ」に関連する自覚症状が有意に増加している⁸⁾。一方、VDT 作業中でもっとも多い愁訴は「眼の疲れ」であり、以下「頭痛」、「肩こり」、「関節痛」、「腰痛」と続くが、これらの多くは VDT 作業に長期間従事した結果生じる慢性的症状とみなされている^{16,17)}。ただ、VDT に関連する上記のいずれの症状も主観的影響であり、科学的な証拠能力が低いと考えられる。

主観的影響とともに、本研究においては左眼の近点距離が 2 時間の 3D ゲーム遂行の前後で有意に増加した。右眼の近点距離も、統計的には有意でないものの、増加傾向が認められた (表 2)。山崎と上條は、被検者 5 人に二眼式液晶シャッター方式の 3D ビデオディスプレイ (時分割立体表示装置) と現行テレビでビデオソフトを 1 時間観視させ、その後で調節近点距離を計測した¹⁸⁾。立体表示方式では近点距離が開始前に比べて約 20% 程度増加し、一方の現行テレビ方式では殆ど変化せず、両者の変動率には統計的に有意な差があった ($P < 0.05$)。また、VDT 作業に長期間従事している労働者で VDT 作業の前後で近点距離が有意に延びていた⁸⁾。したがって、近点距離は視覚系に負担がかかることにより敏感に反応する指標であると結論される。また、3D 映像の視聴は

ピント調節および輻輳を含む視覚系機能に負荷を与える可能性が高いと推定される。

視覚誘発電位に関して、VDT 作業と殆ど無縁の対照群に 2.5 時間のコンピュータ作業を行わせても有意な潜時変化は観察されなかったが、データ入力専任の作業員における 2.5 時間の VDT 作業後の潜時は有意に延長していた⁸⁾。同様に、2D 画面を見ながらパワーシャベルを遠隔操縦している運転手を月曜日から金曜日まで（午前作業前、昼食前、午後作業後の）1 日 3 回視覚誘発電位を測定すると、夕方および週末になるにつれて潜時が延長した（二元配置分散分析、 $P<0.05$ ）⁹⁾。これに対し、本研究では 2D および 3D ゲーム遂行に際して有意な変化はなかった。このことは、長期間 VDT 作業に従事している労働者では VDT 作業の視神経影響が現れやすくなるが、単発の VDT 作業では視覚誘発電位の潜時変化をきたす程度の作業負荷にならないことを示唆しているように思われる。

本研究でフリッカー値を調べると、2D および 3D ゲーム遂行の前後で有意な変化は見られなかった。Yamauchi と Shinohara は、8 人の被検者に 2D と 3D の内視鏡下で縫合、切除、ペグボードの 3 種類の課題を 1 時間行わせ、フリッカーおよび自覚疲労の変化を調べた¹⁹⁾。いずれの被検者も 2D よりも 3D 内視鏡を用いた時の方が高い課題遂行能力を発揮したが、各々の内視鏡操作を行っている間にフリッカーや自覚疲労が有意に変わることはなかった。一方、日々 VDT 画面の前で契約顧客データを入力している保険会社の社員も、午前中の 2.5 時間の VDT 作業前後でフリッカー値が変化することはなかったが、金曜日に測定された社員は月曜と火曜日に測定された社員に比べフリッカー値が有意に小さかった⁸⁾。また、同じ研究の中で測定された対照群（学生）のフリッカー値（作業前平均値 53.9 c/s）と比べても有意に小さい値（同、38.5 c/s）を示した。このように、フリッカー値は慢性の眼精疲労を鋭敏に反映するが、短時間の視覚疲労の評価には必ずしも適しているように思えない。

本研究の課題提示に当たり、被検者は 3D あるいは 2D ゲームなのか一目瞭然であるため、先入観が自覚症状に影響したかもしれない。このように自覚症状のみ扱った論文は証拠能力の点で生得的限界を有する。また、本研究は対象者数が 10 名と少なかったため十分な検出パワーがあったとは言い難い。しかし、個人差に関わる様々な変動要因は対応のある t 検定でゲーム試行の前後値で差分をとることにより相殺され、その結果、一部の検査項目で統計的に有意な差が認められた。客観的検査は訓練された検査者が行ったので、再現性等に問題があるとは考えられない。したがって、本研究の対象者は 20 歳代の健康男子であったことより得られた結果を当て嵌めることが可能な一般集団は限られるものの、解析結果が交絡バイアスや測定バイアスによって大きく影響

されたとは考え難い。

本研究では、視神経系影響として視覚情報伝達時間（視覚誘発電位潜時）、ピント調整機能（近点距離）および精神疲労（フリッカー）について検討した。しかしながら、両眼視差を利用した 3D 視聴による健康影響にはこれら以外に輻輳反応の異常もありうる²⁰⁻²²⁾。我々はこれを客観的に評価できる機器を持ち合わせていないので測定しなかったが、今後の研究において両眼視による輻輳と調節の両機能の異常についても明らかにしていく必要がある。

結 語

3D ゲームの使用は、2D ゲームと比較して、軽度ではあるが視覚系神経影響を引き起こす可能性があること示唆された。また、近点距離は短時間の視覚負荷の影響評価に有用な方法であることが示された。今後の研究において、さらに多くの対象集団を用い、専用眼鏡を着用した 3D テレビの視聴による視覚系神経影響を検討することが望まれる。また、単発的な短時間視聴の影響だけでなく、長期間 3D テレビを視聴し続けている集団と従来の 2D テレビを視聴し続けている集団を比較すると、3D テレビ視聴による慢性の眼精疲労の神経生理学的特徴が明らかにされよう。

文 献

- 1) デジタル最前線 (2010) 3D 元年<上>ゲーム 浮き上がる商機. 読売新聞.
<http://www.yomiuri.co.jp/net/report/20100617-OYT8T00433.htm?from=nlwb,2010.6.12>
- 2) デジタル最前線 (2010) 3D 元年<下>W杯テレビに追い風. 読売新聞. <http://www.yomiuri.co.jp/net/report/20100618-OYT8T00453.htm?from=nlwb,2010.6.19>
- 3) 村田勝敬 (2010) 3 次元画面テレビの将来. 公衆衛生 74: 352.
- 4) 安全ガイドライン部 (2010) 人に優しい 3D 普及のための 3DC 安全ガイドライン (2010 年 4 月 20 日改訂、国際ガイドライン ISO IWA3 準拠). 3D コンソーシアム.
http://www.3dc.gr.jp/jp/scmt_wg_rep/3dc_guideJ_20100420.pdf
- 5) Samsung (2010) Viewing TV using the 3D function. Samsung Company.
<http://www.samsung.com/au/3d-tv/pdf/3D-tv-warning.pdf>
- 6) Murata, K., Araki, S., Yokoyama, K., Yamashita, K., Okumatsu, T., Sakoh, S. (1996) Accumulation of VDT work-related visual fatigue assessed by visual

- evoked potential, near point distance and critical flicker fusion. *Ind. Health*, **34**: 61-69.
- 7) 濱岸五郎 (2009) 3D ディスプレイにおける人間工学的評価と標準化. 映像情報メディア学会技術報告 **33** (No. 16): 9-12.
 - 8) Murata, K., Araki, S., Kawakami, N., Saito, Y., Hino, E. (1991) Central nervous system effects and visual fatigue in VDT works. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, **63**: 109-113.
 - 9) 小笠原勝則, 大平明彦, 小澤哲磨 (1992) VDT作業による眼精疲労評価法としての中心フリッカー値の意義について. 日災医誌 **40**: 12-15.
 - 10) Chiappa, K.H. (1997) Pattern-shift visual evoked potentials: methodology. In: Chiappa KH. Evoked Potentials in Clinical Medicine, 3rd Edition. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, pp. 31-94.
 - 11) Chiappa, K.H., Hill, R.A. (1997) Pattern-shift visual evoked potentials: interpretation. In: Chiappa KH. Evoked Potentials in Clinical Medicine, 3rd Edition. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, pp. 95-146.
 - 12) Simonson, E., Brozek, J. (1952) Flicker fusion frequency: background and applications. *Physiol. Rev.*, **32**: 349-378.
 - 13) 岩崎常人, 秋谷忍 (1990) CRT画面上での視覚作業にみられるCFF値の変化とその生理的意味. 人間工学 **26**: 181-184.
 - 14) Yoshitake, H. (1978) Three characteristic patterns of subjective fatigue symptoms. *Ergonomics*, **21**: 231-233.
 - 15) 村田勝敬, 矢野栄二 (2002) EBMのための医学統計. 南江堂, 東京.
 - 16) Nakazawa, T., Okubo, Y., Suwazono, Y., Kobayashi, E., Komine, S., Kato, N., Nogawa, K. (2002) Association between duration of daily VDT use and subjective symptoms. *Am. J. Ind. Med.*, **42**: 421-426.
 - 17) 岩切一幸, 毛利一平, 外山みどり, 堀口かおり, 落合孝則, 城内博, 斎藤進 (2004) VDT作業者の身体的疲労感に影響する諸因子の検討. 産衛誌 **46**: 201-212.
 - (18) 山崎敏正, 上條憲一 (1989) 調節近点距離を利用した二眼式時分割立体表示装置の視覚疲労評価. *Ann. Physiol. Anthropol.*, **8**: 127-132.
 - (19) Yamauchi, Y., Shinohara, K. (2005) Effects of binocular stereopsis on surgical manipulation performance and fatigue when using a stereoscopic endoscope. *Stud. Health Technol. Inform.*, **111**: 611-614.
 - (20) 奥山文雄 (1996) 3次元映像の視覚特性—立体映像における調節と輻輳—. テレビジョン学会技術報告 **20** (No. 60): 41-46.
 - (21) 阿部真也, 須佐見憲史, 梶木善裕, 圓道知博, 畑田豊彦, 本田捷夫 (2000) 超多眼立体画像に対する輻輳、調節反応の検討. 映像情報メディア学会技術報告 **24** (No. 26): 19-24.
 - (22) 福富武史, 名手久貴, 高木康博 (2003) 指向性画像の高密度表示を用いた三次元ディスプレイに対する調節応答. 信学技報 **2**: 63-68.