

ビデオゲームが運動時の視力を改善するメカニズム
～神経活動と循環動態の関連から～

林 直亨

目 次

要約	1
諸言	2
方法	3
結果	5
論議	10
謝辞	13
参考文献	14

ビデオゲームが運動時の視力を改善するメカニズム
～神経活動と循環動態の関連から～

林 直亨 池村 司 山口 裕嗣

要約

【背景】シューティング型ビデオゲームを長期間行うと視力が改善することが報告されている(Li et al. Nature Neurosci 2009). 一過性のゲーム実施であっても、視力を改善するのであれば、運動前にゲームを行うことによって視力が改善され、ひいては視力と関連した競技力の向上が期待される。そこで、本研究では、一過性のビデオゲーム実施が、①視力を向上させるのか、②視力を向上させるのは脳内の処理メカニズムの改善によるものか、について検討することを目的とする。脳内の処理メカニズムの指標としては、脳神経・循環機能の関連(Neuro-Vascular Coupling; NVC)を用いた。

【方法】男性被験者 11 名に最高心拍数の 60%に相当する自転車エルゴメータ運動を 30 分間の休息をはさんで 2 回繰り返して行わせた。ゲーム試行では休息中にシューティング型ビデオゲームを 30 分間行わせ、対照試行では安静を保たせた。1 回目の運動開始前から 2 回目の運動終了後まで断続的に視力と NVC を計測した。視力としては、静止視力(片眼および両眼)、動体視力、5%および 10%の対比感度、水平視野を計測した。NVC を評価するために閉眼時および視覚刺激時の後大脳動脈の血流速度を計測し、両者の比を NVC として算出した。

【結果】右眼の静止視力は安静時の 0.6 ± 0.1 から 1 回目の運動後には 0.9 ± 0.1 へと有意に上昇した。ゲーム試行ではゲーム終了後に 0.9 ± 0.1 であり、初期の安静値よりも有意に高い値を示した。一方、対照試行では休息終了後に 0.7 ± 0.1 であり、安静時に比較して有意差はなかった。10%対比感度も 1 回目の運動後には有意に上昇し、休息後にはゲーム試行のみ高い値を示した。2 回目の運動は視力に影響を与えなかった。他の視力には時間および試行の影響はなかった。NVC にも時間および試行の影響はなかった。

【結論】運動および運動後のシューティング型ゲームは一過性に視力を増加させる可能性が示唆された。ただし、視力の増加は片眼の静止視力と一部の対比感度に限られた。観察された視力の向上は、後大脳動脈の NVC とは関連しないことが推察された。

諸言

ビデオゲームは視力低下を招くと信じられている。ところが、シューティング型ビデオゲームを長期間行うと視覚機能の一つである対比感度を改善すると報告された (Li et al. 2009)。対比感度とは、均一の背景に対する色のわずかな変化を認識する能力である。もしビデオゲームの実施によって視力が改善するのであれば、ビデオゲームは競技力向上や転倒防止に資するのではないだろうか。

ゲームが視力に与える影響について扱った研究はここ数年前に開始されたばかりであり、未だ現象の一部が報告されたに留まる。そのため、一過性のビデオゲーム実施の影響や、視力向上のメカニズムは不明である。加えて対比感度以外の機能は向上しないのか、などの疑問が多く残されている。視力向上のメカニズムやどの視力の指標が向上するのかが不明では、臨床的にあるいはスポーツ現場で応用するにもその妥当性に疑問が残ってしまう。ビデオゲームを用いた機能向上を具現化するには、効果の期待できる視力を明らかにし、そのメカニズムを解明することが必須である。

そこで、本研究では、一過性のビデオゲーム実施が、①対比感度以外の視力も向上させるのか、②視力を向上させるのは脳内の処理メカニズムの改善によるものか、について検討することを目的とする。本研究では、脳内の処理メカニズムの指標として、脳神経・循環機能の関連(Neuro-Vascular Coupling; NVC)を用いた。

なお、NVC とは、以下のように説明される。神経系が活動する際には、エネルギーが必要となる。これを支えるのが脳循環(一次視覚野では主に後大脳動脈)である。実際に、視覚刺激を与えた際には視覚野への血流が必要となり、安静時には血流が増加することが観察されている(Aaslid 1987)。したがって、視覚の情報処理が活発な際には、処理に必要な部位へ脳血流が過不足なく配分される必要がある。このような神経活動の増加に伴う適切な循環調節をNVCと呼ぶ(Willie et al. 2011)。誤解を恐れずに簡略に述べると、脳の活動の評価に頻繁に用いられるfMRI (functional magnetic resonance imaging) やトレーサーとして同位体でラベルした水分子を用いるポジトロン断層法(positron emission tomography:PET)は、脳の活動に同期した血流の増加反応を視覚化するという点でNVCに類似している。

方法

被験者

被験者は男性11名(年齢 21.3 ± 3.0 歳, 身長 172.5 ± 4.3 cm, 体重 64.6 ± 2.4 kg: 平均 \pm 標準偏差)であった。被験者は1か月あたり 8.7 ± 3.6 時間(範囲:0.25~32 時間)ゲームを行っていた。眼科疾患を持つものはいなかった。眼鏡をかけている被験者は,眼鏡を外して実験に参加した。すべての被験者は研究内容について説明を受け,書面にて同意書を提出してから実験に参加した。本研究は,東京工業大学疫学研究等倫理審査委員会の承認を受けてから行った(承認番号 A13007)。

実験手順

全ての実験は室温 22°C , 湿度 40%の室内にて行った。各種測定の習熟後に,被験者に測定機器の装着を行い,データが安定してから5分間の安静時測定を行った。その後,(220-年齢)より推定される最高心拍数の60%に相当する負荷(87 ± 4 W)において20分間の自転車エルゴメータ運動を被験者に行わせた。運動後,対照試行では安静を30分間保たせた,ゲーム試行では24インチディスプレイにてシューティング型ゲーム(Wii および リンクのボウガントレーニング,任天堂)を30分間行わせた。安静あるいはゲーム終了後に,再度前述の自転車エルゴメータ運動を行わせた。ランダムな順序にて試行を行った。

運動開始前,運動10分および20分経過時点および運動直後に対比感度およびNVCの計測を行った。また,ゲーム試行ではゲーム実施15分時,対照試行では安静15分時に視力のみを計測した(図1)。運動中の対比感度測定時には運動を継続させた。ゲーム中の視力測定時にはゲームを約3分間中断した。

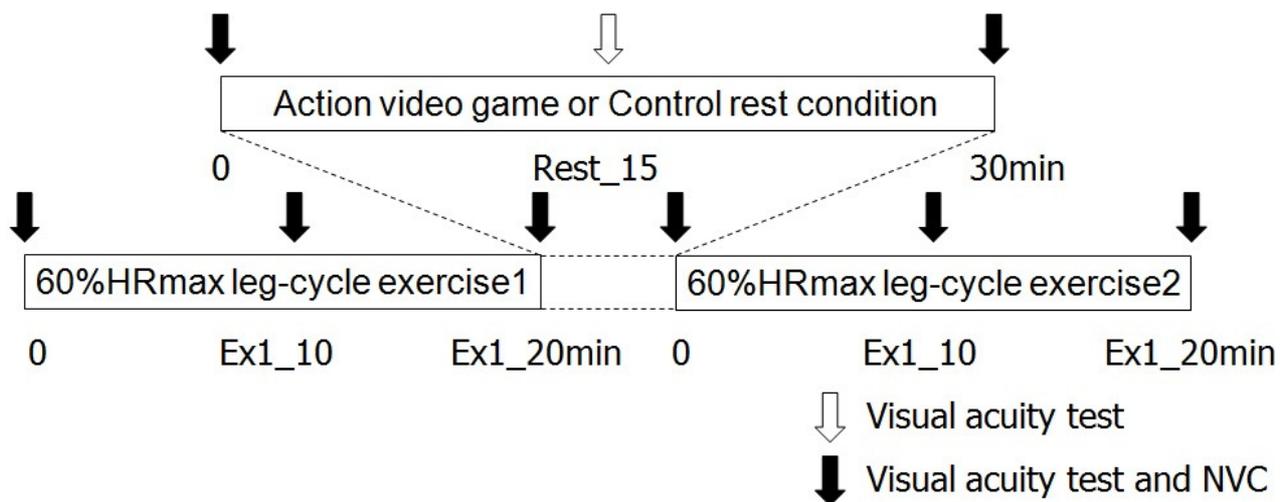


図 1. 本実験の手順

測定項目

動体視力を動体視力検査装置(AS-4F, Kowa 製)によって計測した。これは、時速 30km に相当する速度で近づいてくるランドルト環の切れ目の方向を、ジョイスティックによって指示するものである。両眼を用いて検査を行う。

水平方向の視野を視野検査装置(AS-17, Kowa 製)によって片眼ずつ計測した。被験者の正面にある直径 8mm の白色の視標を、眼直下を中心とした直径 300 mm の円軌道を 3~5° で運動させる。被験者には正面の注視点を固視させたまま、その視標が見えなくなった時点でボタンを押させる。さらに耳方向へ視標を移動した後、視標を被験者の正面方向へ移動させ、見える時点でボタンを押させる。被験者の正面から計測した左右の水平視野の和を両眼の視野とした。

左右の対比感度をコントラスト感度検査装置(CAT-CP, Neitz 製)によって計測した。200cd/m²の輝度において 5%および 10%のランドルト環を提示し、判別可能なランドルト環の下限を計測した。

左右の静止視力を対比感度計で、両眼のそれを動体視力計で計測した。

NVC を評価するために、閉眼時および視覚刺激時の後大脳動脈の血流速度(PCAbv)を経頭蓋超音波ドップラー血流計(WAKI, Atys Medical 製)を用いて測定した。視覚刺激として、白黒のチェック柄が 0.5 秒毎に反転する映像を 24 インチのディスプレイに 40 秒間表示した。被験者の眼とディスプレイの間隔は 50cm としたので、水平視野のうち 25° に相当した。

実験中は、心電図および血圧を生体アンプ (MEG2100, 日本光電製) および血圧監視装置 (Finometer Finapres Medical Systems 製) によって連続的に記録した。なお、PCAbf のエンベロープ波形、心電図および血圧は 1kHz のサンプル周波数で A/D ボード (PowerLab, ADInstrument 製) を介してコンピュータに記録した。PCAbv、心電図および血圧波形より 1 拍毎の後大脳動脈血流速度の平均値 (PCAv)、心拍数と平均血圧の 1 秒毎の平均値を求めた。また、視覚刺激直前 20 秒間の閉眼時における PCAv の平均値に対する、刺激 40 秒間における PCAv の最大値の相対変化を算出し、視覚刺激に伴う NVC を評価した。我々の先行研究 (Yamaguchi et al. 2013) では、視覚刺激時に同時に血圧の上昇が観察されているため、血圧の増加値も算出した。

統計処理

測定値の平均±標準誤差を求めた。心拍数、平均血圧、視覚刺激前の PCAv、NVC および視力に与える時間および試行の影響を繰り返しのある 2 要因の分散分析を用いて検定した。有意な F 値が得られた場合は Bonferroni の事後検定を行った。有意水準は危険率 5% 未満とした。

結果

全身循環および後大脳動脈血流速度

心拍数, 平均血圧および後大脳動脈血流平均速度を図2に示した. 1回目の運動前の安静および2回目の運動前の安静に比較して, 運動中10分, 20分目においてこれらの変数が有意に増加した. 試行間には有意な差は見られなかった.

視力の変化

静止視力の変化を図3に示した. 右眼の静止視力には時間および時間と試行の相互作用が認められた. 対照試行では右眼の静止視力は初期安静時の 0.60 ± 0.12 に比べ, 1回目の運動後に 0.88 ± 0.12 と有意に高い値となった. 1名の被験者では安静値と同値であったが, 他の10名の被験者では静止視力は増加していた. その後は有意ではないものの, 安静および2回目の運動後まで, 初期の安静値よりは高い値で推移した. ゲーム試行でも, 右眼の静止視力は初期安静時の 0.62 ± 0.13 に比べ, 運動後には 0.89 ± 0.14 と有意に高い値となった. この増加はすべての被験者で観察された.

ゲーム試行では, ゲーム15分目には1回目の運動後の静止視力からわずかに低下した. その後, 30分のゲーム終了直後には 0.88 ± 0.13 となり初期の安静値よりも有意に高い値を示した. 2名の被験者が安静値と同値であったが, 他の9名では初期安静値よりも高い値であった. 一方, 対照試行ではゲーム終了直後に相当する時間での静止視力は 0.71 ± 0.13 であり, 初期の安静値と有意差を示さなかった. なお, これら右眼での値は左眼でもほぼ同値であった.

一方, 両眼で計測した静止視力および動体視力には時間および試行の影響は見られなかった(図3).

右眼の対比感度の変化を図4に示した. 左眼でもほぼ同値であった. 10%の対比感度には時間および時間と試行の相互作用が認められた. 1回目の運動直後に10%対比感度は有意に増加した. その後, 有意ではないものの試行によらず安静値よりも高い値で推移した. ゲーム試行ではゲーム終了後に, 初期の安静値から再度有意に高い値になった. 一方, 対照試行では相当する時間に変化は見られなかった.

一方, 5%の対比感度には時間および試行の影響はなかった.

視覚刺激に伴う後大脳動脈血流速度および血圧の変化

白黒のチェック柄が0.5秒毎に反転する映像を見せると, PCA_v は閉眼時に比較して20%程度増加した(図5). この応答の大きさには時間および試行の有意な影響はなかった. PCA_v と同様に映像刺激に伴ってMAPは4mmHg程度増加した. この応答にも時間および試行の有意な影響はなかった.

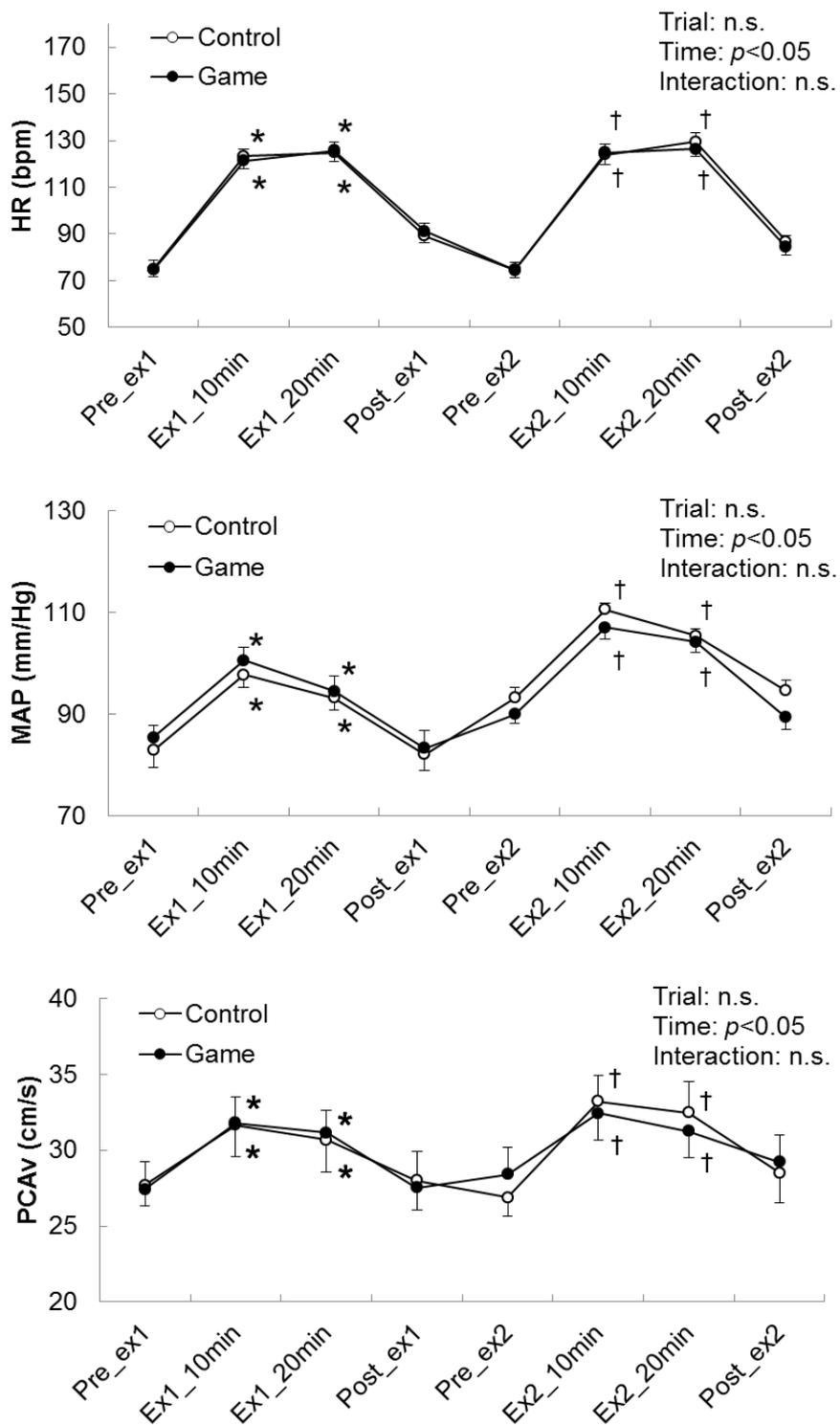


図 2. 心拍数(上段), 平均血圧(中段)および後大脳動脈血流平均速度を示す. 1回目の運動前の安静(Pre_ex1)および2回目の運動前の安静(Pre_ex2)に比較し, 運動中10分, 20分目においてすべての変数が有意に増加した. 試行間には有意な差は見られなかった. *: $p < 0.05$ vs. Pre_ex1, †: $p < 0.05$ vs. Pre_ex2

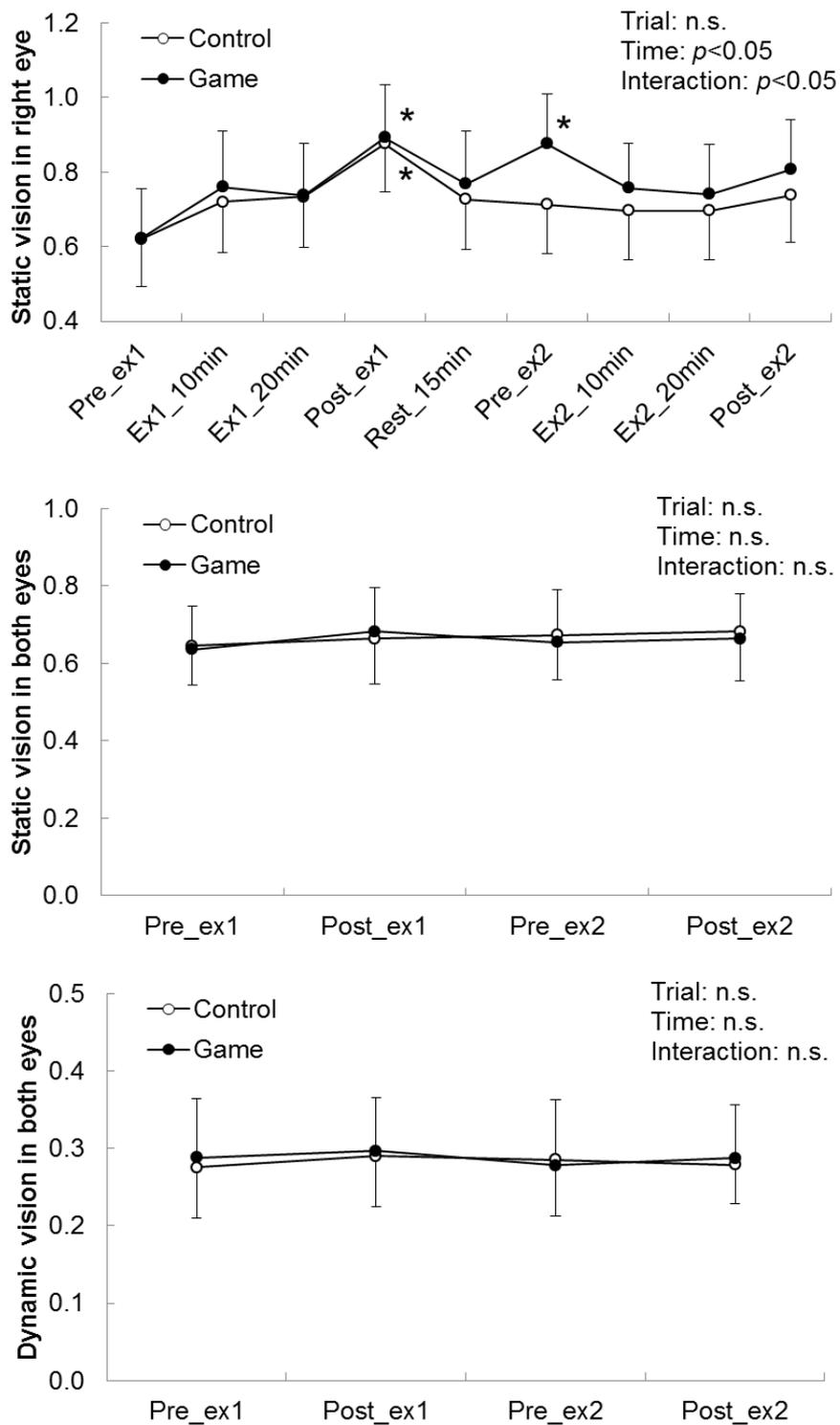


図3. 右眼の静止視力(上段), 両眼の静止視力(中段)および両眼の動体視力(下段)を示す. 1回目の運動後(Post_ex1)において, 運動前(Pre_ex1)よりも右眼の静止視力は有意に増加した. また, ゲーム後(Pre_ex2)においても, 運動前(Pre_ex1)よりも右眼の静止視力は有意に増加した. ゲーム後の視力増加は対照試行では見られなかった. 両眼の静止視力および動体視力は時間および試行による影響がなかった.
 *: $p < 0.05$ vs. Pre_ex1

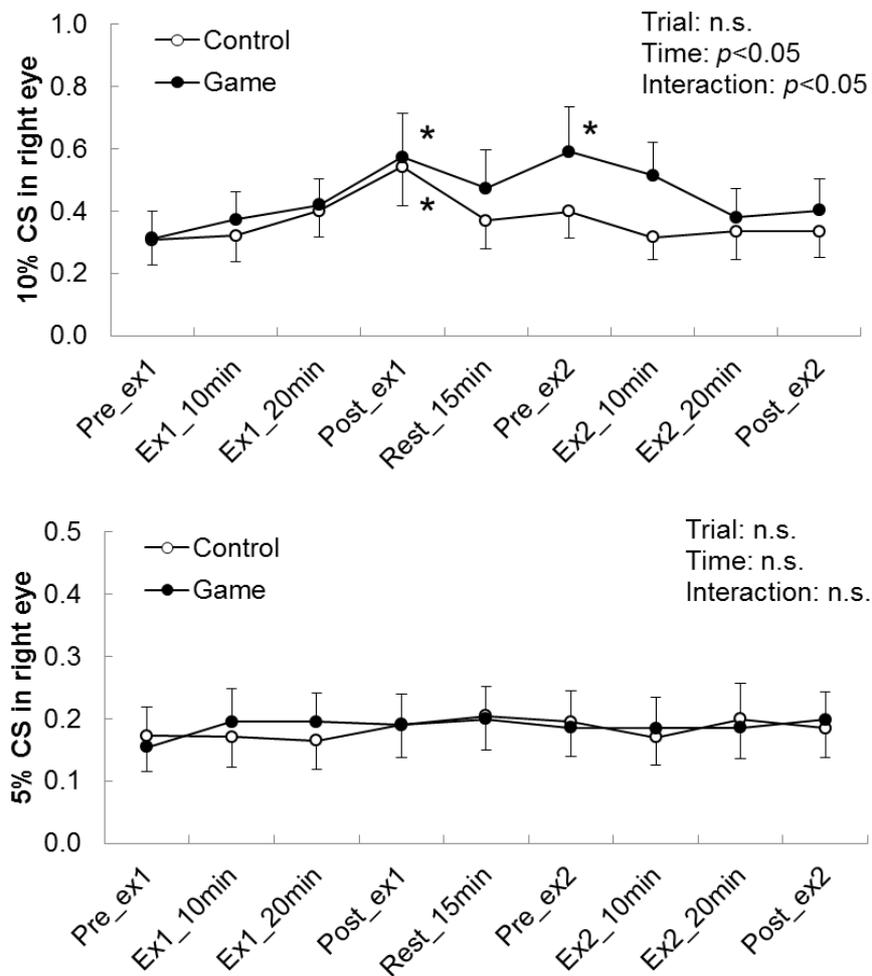


図 4. 右眼の 10%対比感度(上段)および右眼の 5%対比感度(下段)を示す. 1回目の運動後(Post_ex1)において, 運動前(Pre_ex1)よりも右眼の 10%対比感度視力は有意に増加した. また, ゲーム後(Pre_ex2)においても, 運動前(Pre_ex1)よりも右眼の対比感度は有意に増加した. ゲーム後の対比感度増加は対照試行では見られなかった. 右眼の 5%対比感度は時間および試行による影響がなかった. *: $p < 0.05$ vs. Pre_ex1

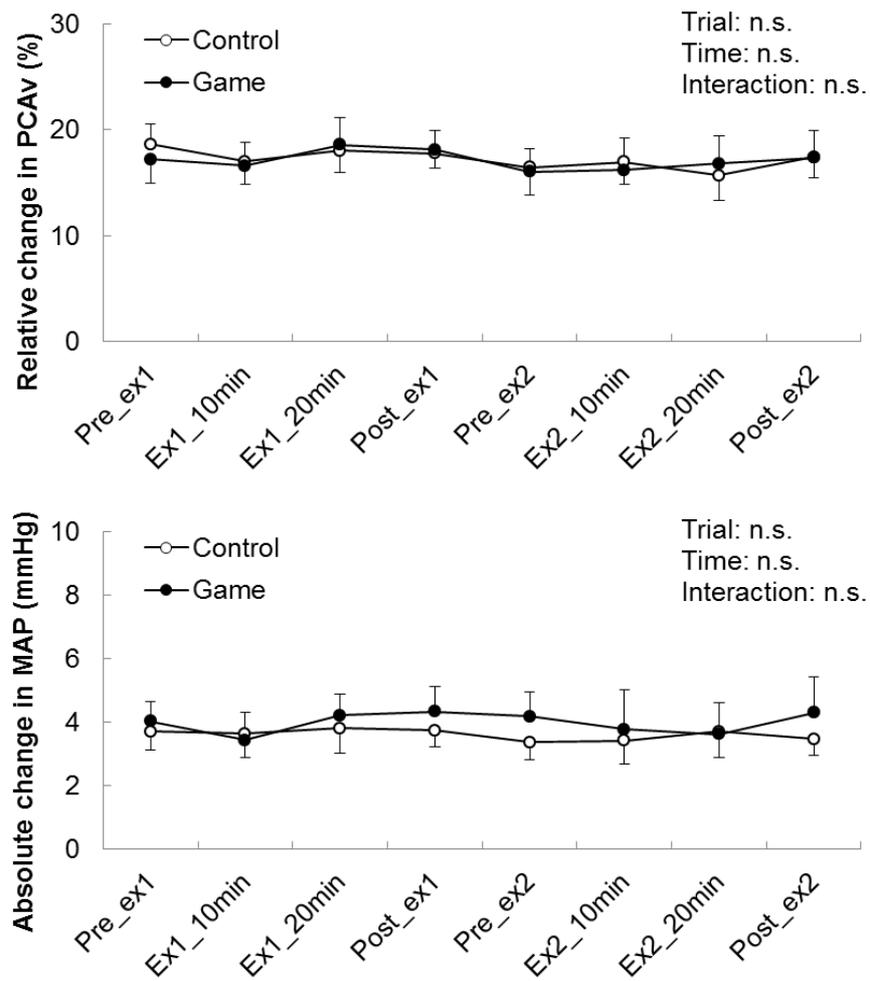


図5. 視覚刺激に伴う後大脳動脈血流速度の増加量の相対値(上段)および血圧の増加量の絶対値(下段)を示した. 時間および試行の影響はなかった.

論議

本研究の主要な知見は、①片眼で計測した静止視力および 10%の対比感度は、20 分間の運動終了後に一過性に増加した、②その後 30 分間のシューティングゲーム実施により、視力指標は再度増加をした一方、ゲームを行わない対照試行では増加しなかった、③脳の一次視覚野周辺へ血流を供給する後大脳動脈の血流および視覚刺激に伴うその血流応答は、前述の視力の増加と一致した変化を示さなかった。これらのことから、運動および運動後のゲームは一過性に視力を増加させる可能性が示唆された。一方、PCAv および視覚刺激に伴う PCAv の応答は運動を行っても、またゲームを行っても変化が見られなかった。このことから、視力の向上に対する PCAv の直接的な関与は支持されなかった。

視力の計測については、スポーツ科学分野では必ずしも一般的ではない。以下に、指標の意味を記しつつ考察を進める。なお、短期間のゲームが視力に与える影響については、先行研究がないため、運動の影響についての論議を中心とした。

視力の変化

本研究は、運動後において短時間のシューティングゲームが静止視力および対比感度を一過性に向上させることを初めて示した。長期間に及ぶシューティングゲームのトレーニングを行うと対比感度や有効視野が向上する、あるいはシューティングゲームプレイヤーの視覚の空間的特徴が向上していることはこれまでも報告されていた(Feng et al. 2007, Green et al. 2010, Li et al. 2009)。本研究では短時間のゲーム実施でも同様の効果があることを示した。ただし、その効果は、10%の対比感度および片眼の静止視力に限られており、水平視野、動体視力、5%の対比感度および両眼の静止視力には効果は見られなかった。

静止視力は2つの離れた点を2つと認識する能力のことであり、日本では最小視角(分)の逆数で表す。円の一部分が切れた形状のランドルト環を用いて計測する。例えば、静止視力 1.0 とは最小視角1分(1/60°)を判別する能力である。本研究では、静止視力が運動に伴って増加し、その増加はゲーム実施によって再度増加した。また、ゲームの有無によらず、運動後には安静値よりも高い平均値を推移しており、2回目の運動中から運動後に至り、低下することはなかった。これは、ゲーム実施によって静止視力が向上あるいは向上が維持されることを示すものである。ただし、運動後に限られて観察されるものかについては注意が必要であり、今後の検討が待たれる。

運動に伴う視力の変化について検討されているものの、見解が一致しない。これらの不一致は、①測定する視力変数が異なる、②運動の条件が一定でない、ことに起因する可能性が高い。先行研究では、50、115 および 180W における自転車エルゴメータ運動を 3 分あるいは 6 分行うことにより、視力が向上したと報告されている(Vlahov 1979)。一方、15 分間の自転車エルゴメータ運動により、運動直後の静止視力が低下したとの報告もある(石垣 1988)。後者は、運動時間が本研究に近い。本研究の運動強度は、心拍数で

比較すると先行研究における最大酸素摂取量 50%相当の強度に相当する(本研究1回目の運動時 125±4bpm, 先行研究 128bpm). にもかかわらず, 先行研究では, 静止視力が1.28から運動直後には1.08へ低下している. 本研究の被験者の安静時静止視力は 0.60±0.12 であり, 先行研究よりもかなり低いので, 被験者の視力の初期レベルが関与している可能性も考えられる. しかし, 安静時静止視力 1.26 と比較的高い被験者であっても, 運動後に静止視力は増加したことから, 初期レベルで説明することは妥当ではない.

本研究では, 10%の対比感度がゲームおよび運動の実施によって増加した. 対比感度とは, 単一色の背景から微妙な濃淡の変化を感知する能力である. かすんで見えるのではなく, よく見えるための視覚の要素と言えよう. コントラスト(C)は, 視標の最高輝度(Lmax)および最低輝度(Lmin)により決まる. 輝度とは光源の面積あたりの光度である.

$$C=(L_{\max}-L_{\min}) / (L_{\max}+L_{\min})$$

本研究の場合, 装置で設定された輝度は 200cd/m²であったため, 5%および 10%対比感度の場合に提示された背景:ランドルト環の輝度比は各々 105 : 95 および 110 : 90 であった.

今のところ, 一過性のゲームや運動の実施に伴う対比感度の増加を報告した例は少ない. 運動ではジョギングなどによって向上した2例に限られ(Koskela 1988, Woods and Thomson 1995), ゲームでは例がない. 5%の対比感度が変化しなかったことについては現時点では研究も少なく, 説明することができない. 先行研究は 9 週間のゲーム実施によって対比感度が向上したこと, およびゲームプレイヤーでは対照群よりも対比感度が高いことを報告している(Li et al. 2009). この研究では, 対比感度が増加する領域は広い. もちろん, 一過性の影響と同等に扱うことはできない. 対比感度の影響が限定的であったことについては今後検証を待つ必要がある.

片眼の静止視力が左右それぞれで向上していたにも関わらず, 両眼の静止視力が変化しなかった. 両眼の視力は, 片眼の視力とは異なり, その働きは両眼視の機能を含む. 両眼視では, 片眼とは異なり, 融像が必要となる. 融像とは左右の網膜に映った像を単一視することである. したがって, 片眼の視力が良くても, 両眼視覚機能が低下していると, 立体感に狂いを生じる. 本研究では, 運動やゲームに伴って片眼の静止視力が向上したが, 両眼の静止視力には影響がなかったことから, 融像を伴う静止視力にまではそれらの影響が見られなかったと考えられる.

動体視力は動いている物体を識別する能力である. 本研究では眼前に向かって直進してくる視標を用いた. スポーツ場面では頻繁に必要とされる能力であると考えられるが, この指標にゲームおよび運動の影響は見られなかった.

水平視野は見える範囲を水平方向で示した指標である. 視野の中であっても, 周辺部(周辺視野)では視力が低い. 本研究では, 静止した状態での視野にはゲームおよび運動の影響がなかった. 一方, 周辺視野には運動の影響があることが知られている(Ando 2013). 周辺視野についての検討も併せて行うことが今後は必要なかもしれない.

視覚刺激に伴う後大脳動脈血流速度および血圧の変化

視覚刺激に伴い、脳内の処理プロセスが増加し、それに応じて神経の代謝が向上した結果、PCAvが増加すると考えられている(Willie et al. 2011 Aaslid 1987). これは神経活動と血流との関連を示したものであることからNVCと呼ばれている。本研究でも、閉眼時に比較してPCAvが20%程度増加した。

本研究においてNVCは、運動中および運動後、あるいはゲーム実施後にも変化は見られなかった。我々の研究グループにおいても、運動時にはNVCが変化しないことを観察している(Yamaguchi et al. 2013). このことから、運動やゲームがNVCに与える影響は限定的であることが示唆される。本研究で観察された視力の向上に対するPCAvの直接関与は支持されなかった。

視力向上の生理メカニズム

本研究では、視力が向上するメカニズムとして脳の一次視覚野周辺の血流応答に着目した。血流応答から評価する限りでは、一次視覚野周辺の機能が向上したとは考えにくい。視覚処理には広範囲な脳領域が関わっていることから、他の領域の関与、あるいは脳以外の関与を考える必要がある。

ゲームが視力に与える長期的な影響についての先行研究は心理学分野を中心に行われている。そこでは主に覚醒、動機および集中といった説明がなされており、生理学的な説明はほとんど取り上げられていない。一方、運動に伴う視覚の向上については前述のように、一定の見解が得られていない。何らかの生理メカニズムを推察できるような先行研究はほとんどなされていない。

NVCの変化に伴って視覚が向上するとの仮説を立てた。しかし、本研究ではそれを支持する結果にはならなかった。我々のグループでは、安静時の静止視力と眼底血流量の増減に関連があることを報告した(Hayashi et al. 2011a)。運動時には眼底血流量が運動強度によっては増加することを示している。(Hayashi et al. 2011b, Ikemura et al. 2012)。一方、運動時には瞳孔径が増加することを報告している。ただし、静止視力の向上を期待できるような変化量ではなかった(Hayashi et al. 2010)。とはいえ、対比感度の向上とは関連があるのかもしれない。今後は、脳の視覚野周辺の機能に加えて、眼周辺の機能についても併せて検討し、視覚が向上する生理メカニズムを明らかにしていくことが必要である。

今後の展望

本研究によって、運動によって、また運動後のゲームによって視力が向上する可能性が示唆された。スポーツ場面や日常生活において、ゲームを用いた一時的な視力向上や回復といった応用が見込めよう。ただし、そうした現実的な課題に活かすためには、視力が向上する条件について今後明らかにする必要がある。また、視力を向上させるメカニズムについても検討していくべきであろう。

謝辞

本研究は、一般財団法人上月財団第9回スポーツ研究助成事業の援助により行われた。ここ記して、深謝の意を表します。

参考文献

- Aaslid R. Visually evoked dynamic blood-flow response of the human cerebral-circulation. *Stroke* 18: 771-775, 1987.
- Ando S. Peripheral visual perception during exercise: why we cannot see. *Exerc Sport Sci Rev.* 41: 87-92, 2013.
- Feng J, Spence I, Pratt J, Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychol Sci* 18: 850-855, 2007.
- Green CS, Li R, Bavelier D. Perceptual learning during action video game playing. *Top Cogn Sci* 2: 202-216, 2010.
- Hayashi N, Ikemura T, Someya N. Changes in ocular flow induced by hypo- and hypercapnea relate to static visual acuity in humans. *Eye Report.* 1: e8. 20-24, 2011a.
- Hayashi N, Ikemura T, Someya N. Effects of dynamic exercise and its intensity on ocular blood flow in humans. *European Journal of Applied Physiology* 111: 2601-2606, 2011b.
- Hayashi N, Someya N, Fukuba Y. Effect of intensity of dynamic exercise on pupil diameter in humans. *Journal of Physiological Anthropology* 29:119-122, 2010.
- Ikemura T, Hayashi N. Ocular circulatory responses to exhaustive exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology* 112: 3313-3318, 2012.
- 石垣尚男. 15 分間の自転車エルゴメーター運動による視力低下と要因分析. *体育学研究* 33: 185-192, 1988.
- Koskela PU. Jogging and contrast sensitivity. *Acta Ophthalmol* 66: 725-727, 1988.
- Li R, Polat U, Makous W, Bavelier D. Enhancing the contrast sensitivity function through action video game training. *Nat Neurosci* 12, 549 - 551, 2009.
- Vlahov E. Effect of different workloads varying in intensity and duration on resolution acuity. *Percept Mot Skills.* 48: 1259-1264, 1979.
- Willie CK, Cowan EC, Ainslie PN, Taylor CE, Smith KJ, Sin PY, Tzeng YC. Neurovascular coupling and distribution of cerebral blood flow during exercise. *J Neurosci Methods.* 198:270-273, 2011.
- Woods RL, Thomson WD. Effects of exercise on aspects of visual function. *Ophthalmic Physiol Opt.* 15: 5-12: 1995.
- Yamaguchi Y, Ikemura T, Kashima H, Miyaji A, Hayash N. Effect of exercise on the increase response to visual stimulation in posterior cerebral artery blood flow. *Proceeding of Life Engineering Symposium* 191-193, 2013.