

# ヘッドトラッキング機能の有無が映像の没入感に及ぼす影響の検討

心理学科 12hp214 北山 開

(指導教員：長野 祐一郎)

キーワード：ヘッドトラッキング機能, 没入感, HMD

## 問題と目的

ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display:HMD) という、頭部に装着することのできるディスプレイ装置が次世代のエンターテインメント提示手法として大きく期待されている。Gallagher(2000)によれば、身体感覚は、身体保持感と運動主体感により構成されるという。この運動主体感による身体感覚の拡張効果を、HMD に応用したものが OculusRift といえる。従来の HMD にヘッドトラッキング機能を付加することで、頭部の運動に応じて映像の見え方が変化できるようになる。その結果、頭部の運動にともなう運動主体感が生じ、CG の映像があたかも現実であるかのように感じられるものと考えられる。このように没入感が増加すると、各種の生体反応にも影響が生じるはずである。上記をふまえ本研究では、ヘッドトラッキング機能の有無が、CG 映像提示中の没入感および自律系整理指標に及ぼす影響を検討することを目的とした。

## 方法

**実験参加者：**11 名の文京学院大学生(男子 9 名、女子 2 名)、平均年齢 21 歳(SD=1.12)であった。

**条件配置：**ヘッドトラッキング機能がある映像を HMD で見せるヘッドトラッキング機能あり条件と、ヘッドトラッキング機能がない録画映像を HMD で見せるヘッドトラッキングなし条件を設け、参加者内計画で行った。

**実験課題：**3D 映像によるジェットコースターアプリケーション Urban Coaster を Oculus Rift を用いて提示した。ヘッドトラッキング機能なし条件では、同アプリケーションの実行画面の録画映像を HMD により提示した。

**指標：**生理指標として、心拍数(以下 HR)、脈波振幅(以下 PV)、皮膚コンダクタンス(以下 SC)を計測した。心理指標として、一般感情尺度(小川・門地・菊谷・鈴木,2000)、没入感尺度(松島・佐藤・春日・橋本,2011)、3 項目で構成さ

れた、独自の没入感尺度を用いた。

**手続き：**前安静期 2 分、課題期 2 分、後安静期 2 分の構成として 2 条件をカウンターバランスをとりながら実験を行った。一般感情尺度は実験開始前と後安静終了後に回答してもらい、没入感尺度と独自 S 尺度は後安静終了後に回答してもらった。

## 結果

生理指標では、HR の変化量で条件×期間の交互作用がみられた。PV・SC において期間の主効果が有意だった。また、HR の変化量では期間の主効果で有意傾向が認められ、PV の変化量では期間の主効果が有意だった。一般感情尺度では、いずれの項目においても有意な効果は認められなかった。没入感尺度では、「広がり」、「見やすさ」に関する項目で条件による有意差が認められ、独自尺度ではいずれの項目においても有意な効果は認められなかった。

## 考察

主観的感情に関しては、ヘッドトラッキング機能の有意な効果は見られなかったが、統計的に有意ではないがヘッドトラッキングあり条件で PA 上昇がやや多いように見えた(図 1 参照)。このような結果は、多くの参加者が没入感という言葉に親しみが無いため適切に回答できず、かろうじて「楽しい」という感情として認知されたものと理解できるかもしれない。約 2 分の課題期を前半・後半に分けて分析すると、HR の変化量で、ヘッドトラッキングあり条件で、条件×期間の交互作用がみられた(図 2 参照)。この HR 変化は、アプリケーションの前半に急激に降下する場面が集中し、後半は比較的なだらかである事を反映しているように思える。ヘッドトラッキング機能あり条件においては、映像を自分に生じた出来事と感じたのに対し、ヘッドトラッキングなし条件ではただの映像視聴体験ととらえた可能性が考えられるだろう。

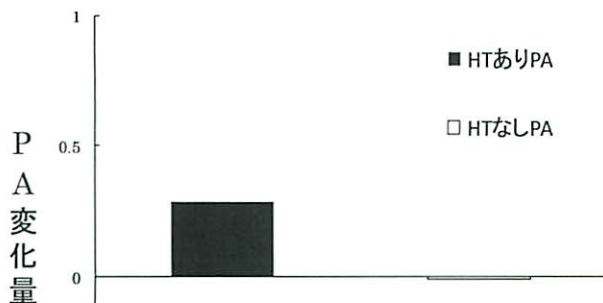


図 1. 各条件における PA の変化量の推移

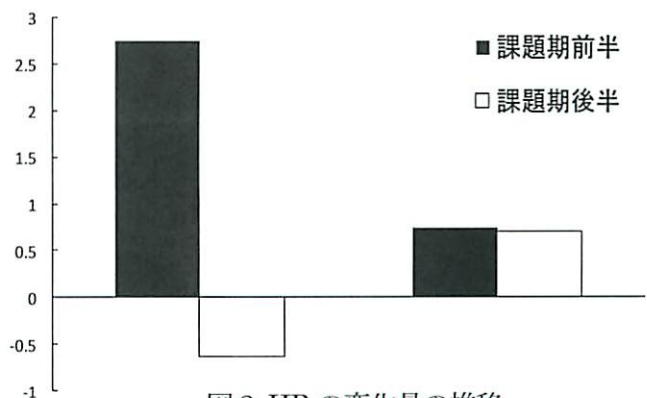


図 2. HR の変化量の推移

# ヘッドトラッキング機能の有無が映像の 没入感に及ぼす影響の検討

学籍番号 12HP214

氏名 北山 開

担当教員 長野 祐一郎

## 序と目的

映像エンターテインメントの普及とともに、映像技術が発展していき映画のみでなくテレビCMやドラマ等でもコンピュータグラフィック(Computer Graphics:CG)が活用される等になっていった。TVゲームも同様に発展していき、ドット絵やポリゴンを用いて制作されたゲームが主流であったが、技術の進歩とともに開発にかかる全体のコストが低くなり、家庭用ゲーム機で扱われるゲームタイトルの中にも3Dモデリング技術がつかわれたものが徐々に多くなり、横スクロールや縦スクロールといった行動が制限されているゲームは少なくなり、いわゆる箱庭ゲームやオープンワールドゲームと呼ばれる、自由にマップ内を探索することのできるゲームが増えていった。

近年では、一人称視点で操作することのできるゲームが世界中で台頭し始めている。これは、プレイヤー自身が作品の世界へと入り込み、実際にその世界で行動をしているような没入感を得られるためであり、それとともに、そのような非現実的な体験を多くのプレイヤーが求めている結果であると考えられる。その、没入感を高めるために、ゲームに使われるコントローラーが操作をより現実近づけるためにハンドル型コントローラーや銃型のコントローラー等が販売され、さらに加速度やジャイロのようなモーションセンサー、赤外線を用いた深度センサーなど、様々なセンサーを用いてプレイヤーの身体の動きをゲームの中に反映させるような仕組みが実用化されている。

ヘッドマウントディスプレイ(Head Mounted Display:HMD)という、頭部に装着することのできるディスプレイ装置が90年代に入り民間企業から発売され始めた。その中でも2011年にSONYが発売したHMZシリーズは注文が殺到し、生産が一時追いつかない程の反響があった。しかし、翌年2012年にOculusRiftという、バーチャルリアリティ(Virtual Reality:VR)に特化したHMDのプロトタイプがOculus社により発表された。これは、頭の動きに合わせて映像が動くヘッドトラッキング機能が搭載されていることや安価で質の高い技術が搭載されていることが話題となり、その後、開発費募集のためにクラウドファンディングを行った結果目標額の10倍以上の金額が集まり、更なる注目を集めた。その後Oculus社は、2014年には大手SNS企業であるFacebook社により買収された。これに続くようにSONYやSamsungといった企業がVR産業に本格的に参入し始め、ヘッドトラッキング機能の付いたHMDを発表し始めた。これらのことから、HMDは次世代のエンターテインメント提示手法として大きく期待されていることがわかる。

エンターテインメントをより高度なものへと発展させるためには、映画やゲームなどの仮想世界にどれだけ自分を入り込ませるか、いわゆる没入感を高める事が重要となる。前述の、モーションセンサーの値に応じて、仮想世界の中のキャラクターが動くなどの仕組みも、没入感を高めるために一役買っていると思われる。Gallagher(2000)によれば、身体感覚(ある対象を自分の体の一部であると認識すること)は、身体保持感と運動主体感により構成されるという。たとえば、操作者の身体の動きを遠隔で反映可能なアンドロイド・ロボット「ジェミノイド」を用いた研究(渡辺・西尾・小川・石黒,2011)では、ロボットを繰り返し操作させると、その後ロボットの手背に注射をする映像を見せた際、触覚フィードバックがないのにも関わらず、痛みの反応として皮膚コンダクタンス反応が生じた。この例では、観察される運動が自身によって引き起こされたものだという感覚、すなわち運動主体感が、身体感覚をロボットの腕へと拡張したものと理解できる。この運動主体感による身体感覚の拡張効果を、HMDに応用したものがOculusRiftといえる。従来のHMDにヘッドトラッキング機能を付加することで、頭部の運動に応じて映像の見え方が変化できるようになる。その結果、頭部の運動にともなう運動主体感が生じ、CGの映像があたかも現実であるかのように感じられるものと考えられる。このように没入感が増加すると、

各種の生体反応にも影響が生じるはずである。

上記をふまえ本研究では、ヘッドトラッキング機能の有無が、CG映像呈示中の没入感および自律系整理指標に及ぼす影響を検討することを目的とした。

## 方法

### 実験参加者

11名の文京学院大学生(男子9名、女子2名)、平均年齢21歳( $SD=1.12$ )であった。

### 条件構成

ヘッドトラッキング機能がある映像をHMDで見せるヘッドトラッキング機能あり条件と、ヘッドトラッキング機能がない録画映像をHMDで見せるヘッドトラッキングなし条件を設けた。ヘッドトラッキングなし条件の映像は、コースの正面を向いた位置で固定し録画された。

### 実験課題

Unityを用いて制作された、ジェットコースターアプリケーション Urban Coaster (<http://iworks2013.com/>)をOculus Riftを用いて提示した。ヘッドトラッキング機能なし条件では、同アプリケーションの実行画面の録画映像をHMDにより提示した。



図 1. 実験課題の実行画面

### 生理指標

心拍数(Heart Rate:以下 HR)、皮膚コンダクタンス(Skin Conductance:以下 SC)、脈波振幅(Pulse Volume:以下 PV)を測定した。長野(2012)による回路図をもとに作成した心電図アンプを用い、HRは第II誘導法により算出した。PVは非利き手第2指から、SCは非利き手第3と第4指からそれぞれを測定した。これらの波形はArduino FIOのアナログポートを用い10bitの精度、1kHzのサンプリング周波数でA/D変換された。

## 心理指標

課題に対する没入度を、松島・佐藤・春日・橋本(2011)を参考に、「没入感」、「迫力」、「驚き」、「違和感」、「見やすさ」、「ゆれ」、「疲れ」の7項目、また独自項目として「実際にジェットコースターに乗っている感じがした」、「酔いを感じた」、「遠心力を感じた」の3項目を追加し、計10項目を7件法で回答させた。

## 実験スケジュール

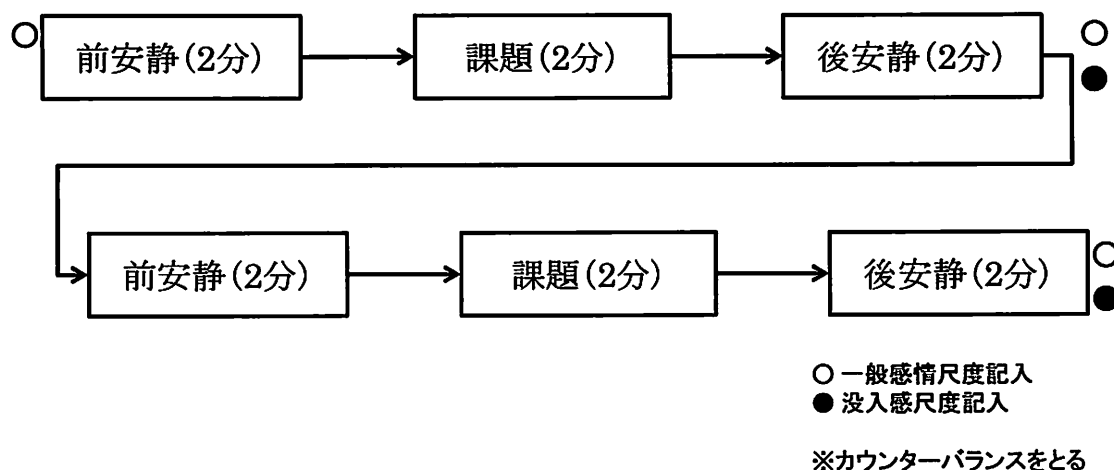


図 2. 実験スケジュール

前安静2分、課題2分、後安静2分の構成として、ヘッドトラッキング機能あり条件とヘッドトラッキング機能なし条件の2条件をカウンターバランスしながら実験を行った。

## 手続き

インフォームドコンセントをとり、参加者が機器の装着をした後に、「これから実験の説明を行います。前安静2分・課題期2分・後安静2分の計6分で2セット行います。安静期は目を開けて安静にしてください。課題期には周りを見渡すことができます。もし、途中で気分が悪くなった場合は手を挙げるか、機器を外してください。」と教示を行い、一般感情尺度に回答してもらった後に、実験を行い、一般感情尺度・没入感尺度・独自項目の各質問紙に回答してもらった後に、再び実験を行い先ほどと同じように、各質問紙に回答してもらい実験を終了した。実験は参加者ごとにカウンターバランスをとりながら行った。実験終了後に、課題期の気持ちを質問紙に記入してもらった。

# 実験配置

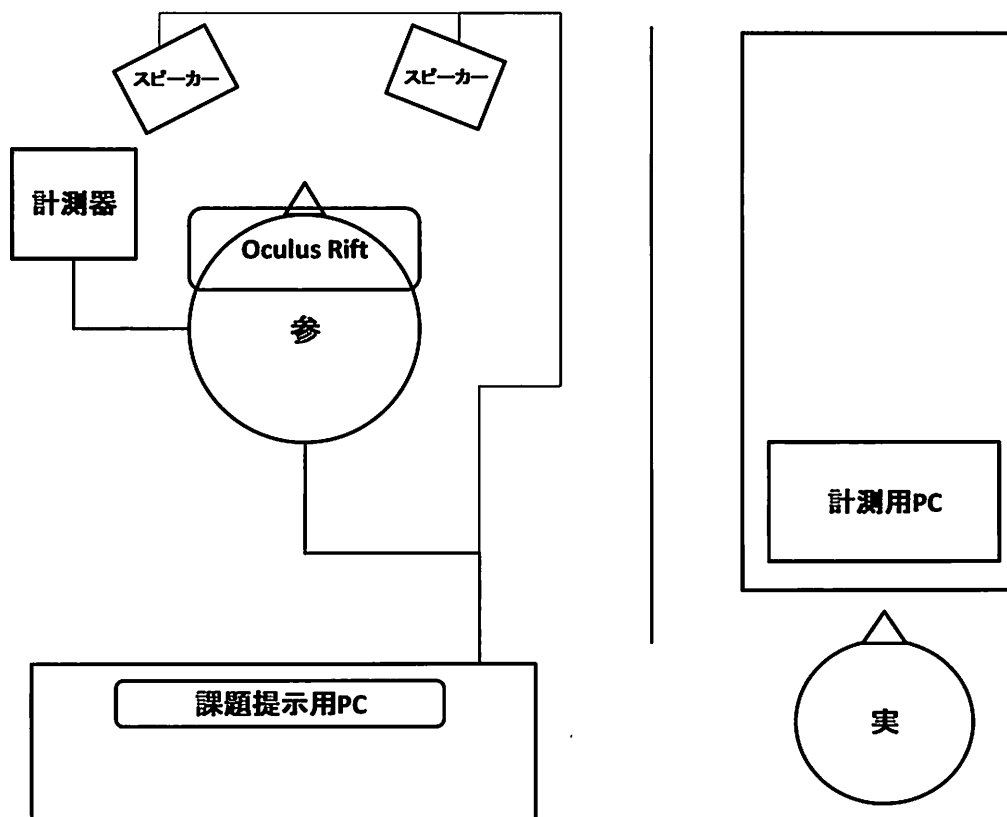


図 3. 実験配置図

## 結果

まず、ヘッドトラッキング機能あり条件とヘッドトラッキング機能なし条件におけるHRの推移を図4に示した。

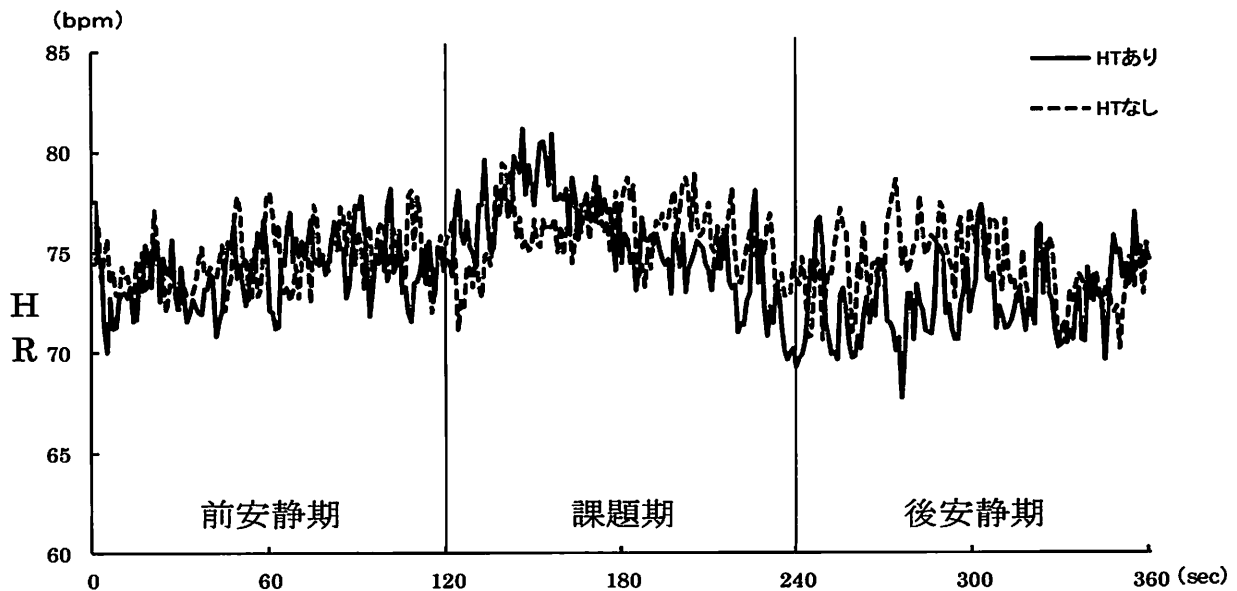


図4. 各条件におけるHRの推移

HRは、ヘッドトラッキングあり条件においては、課題開始直後にやや上昇したのちに課題後半にかけて下降し、後安静期に再びやや上昇するよう見受けられた。ヘッドトラッキングなし条件においては、課題開始直後にやや上昇した後は、課題終了時まで同水準の値を示した。後安静期においても、値の変化は少なく、前安静や課題期と同水準の値を示した。課題期から後安静期にかけてのHRはヘッドトラッキングあり条件でややひくいよう見えた。全体を通して、ヘッドトラッキングあり条件のほうがHRの変動が大きいよう見受けられた。

前安静後半の1分をベースとして、課題期前半・後半への変化量を算出し、2（HT：あり・なし）×2（課題：前半・後半）の分散分析を行い図5に示した。

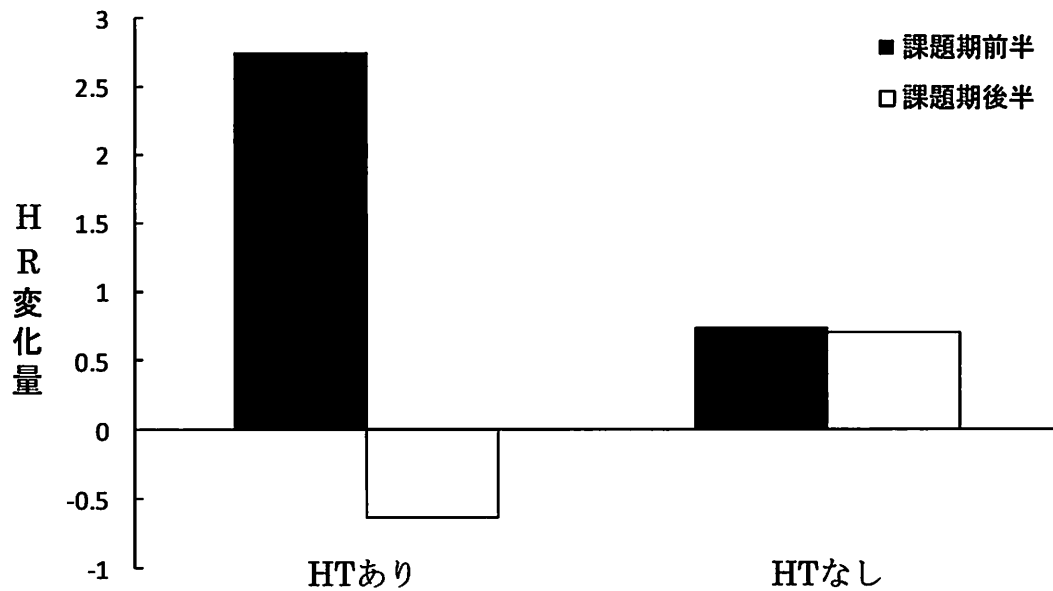


図5. HRの変化量の推移

その結果、期間の効果が有意傾向であり、条件×期間の効果が有意であった（期間： $F(1,10)=3.72, p<.10$ ; 条件×期間： $F(1,10)=11.42, p<.01$ ）。条件の効果は有意でなかった（ $F(1,10)=0.33, n.s.$ ）。

条件ごとに各期間の平均心拍数を求め、それらを従属数として2（条件：ヘッドトラッキングあり, ヘッドトラッキングなし）×3（期間：前安静, 課題, 後安静）の分散分析を行った。その結果、いずれの効果に関しても有意ではなかった（条件： $F(1,10)=0.22, n.s.$ ; 期間： $F(2,20)=1.62, n.s.$ ; 条件×期間： $F(2,20)=0.48, n.s.$ ）。



次に各条件における PV の推移を図 6 に示した。

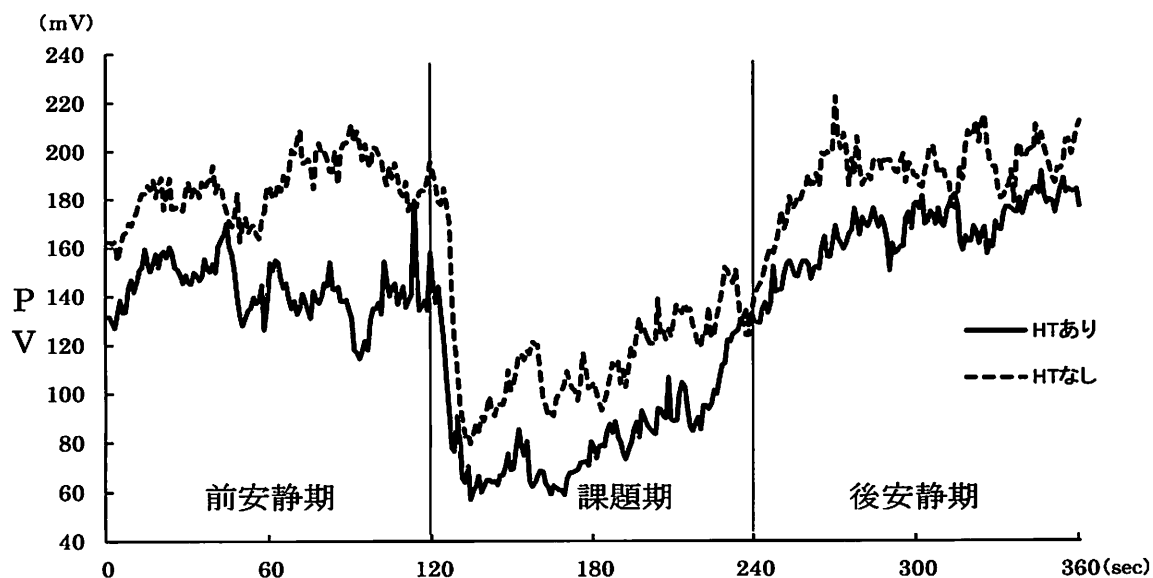


図 6. 各条件における PV の推移

PV では、両条件において、課題開始直後に一気に下降し、課題中に徐々に上昇していき、後安静に入り少し経つと、前安静と同水準まで上昇した。全期間においてヘッドトラッキングあり条件のほうが、PV が低いように見受けられた。

前安静後半の1分をベースとして、課題期前半・後半への変化量を算出し、2（HT：あり・なし）×2（課題：前半・後半）の分散分析を行い図7に示した。

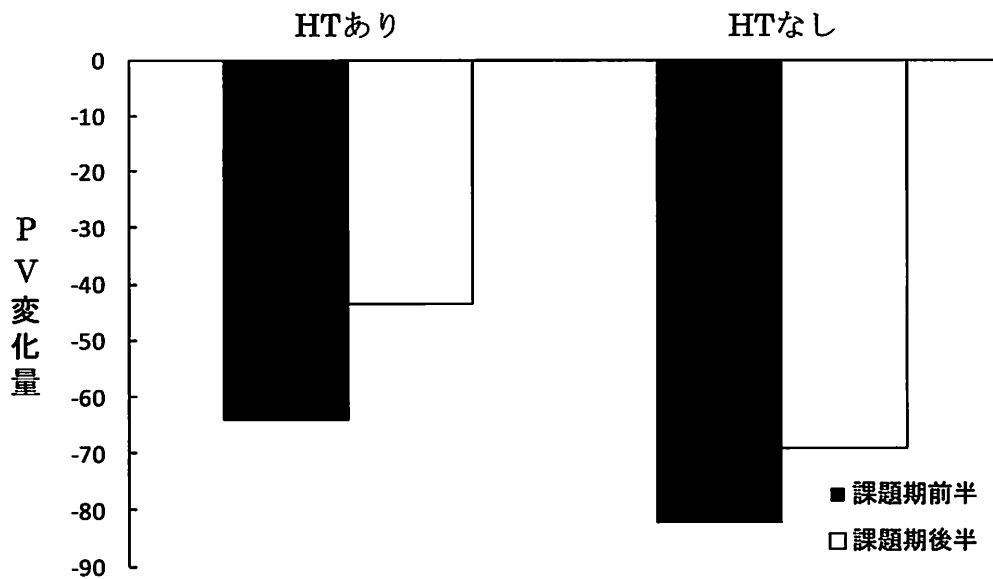


図7. PVの変化量の推移

その結果、期間の主効果のみが有意であり ( $F(1,10)=6.77, p<.05$ )、条件の効果と条件×期間の主効果は有意でなかった (条件:  $F(1,10)=1.32, n.s.$ ; 条件×主効果:  $F(1,10)=0.23, n.s.$ )。

PVを従属変数とし、同様に分散分析を行ったところ、期間の効果のみが有意であり ( $F(2,20)=19.90, p<.01$ )、条件の効果および条件×期間の交互作用は有意ではなかった (条件:  $F(1,10)=3.03, n.s.$ ; 条件×期間:  $F(2,20)=0.47, n.s.$ )。期間の効果が有意であったため、Bonferroniの修正に基づく多重比較を行ったところ、前安静期と課題期の間、課題期と後安静期の間有意な差が認められた。

次に、各条件における SC の推移を図 8 に示した。

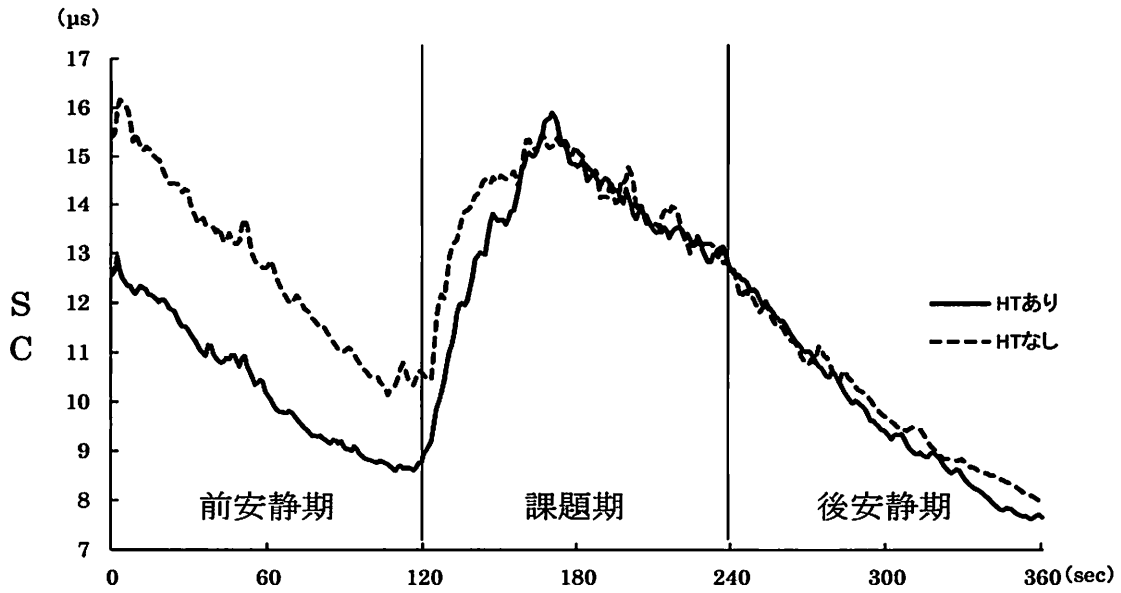


図 8. 各条件における SC の推移

SC では、前安静期においてはヘッドトラッキングなし条件のほうが SC は高いように見受けられるが、その後は課題期、後安静期どちらの期間においてもほぼ同水準であるように見受けられた。課題期において、ほぼ同じ時間帯に SC が下降し始めていた。

前安静後半の1分をベースとして、課題期前半・後半への変化量を算出し、2（HT：あり・なし）×2（課題：前半・後半）の分散分析を行い図9に示した。

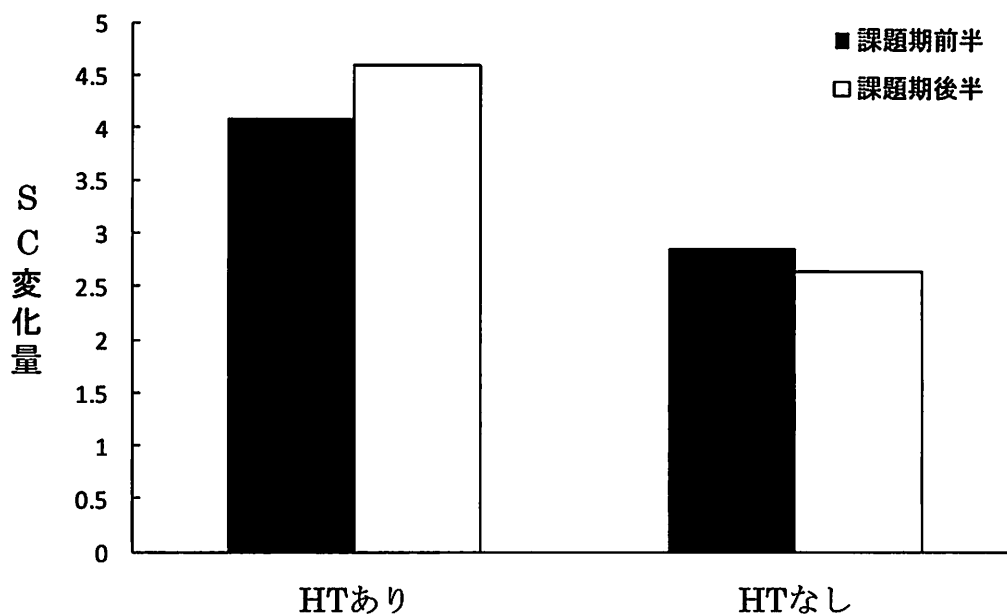


図9. SCの変化量の推移

その結果、いずれの効果に関しても有意ではなかった(条件： $F(1,10)=0.68, n.s.$ ; 期間： $F(1,10)=0.03, n.s.$ ; 条件×期間： $F(1,10)=0.62, n.s.$ )。

SCを従属変数とし、同様に分散分析を行ったところ、期間の主効果のみが有意であり

( $F(2,20)=11.68, p<.01$ )、条件の効果および条件×期間の交互作用は有意ではなかった(条件： $F(1,10)=0.30, n.s.$ ; 条件×期間： $F(2,20)=1.05, n.s.$ )。

期間の効果が有意であったため、Bonferroniの修正に基づく多重比較を行ったところ、前安静期と課題期の間、課題期と後安静期の間に有意な差が認められた。

次に、PA の変化量について図 10 に示した。

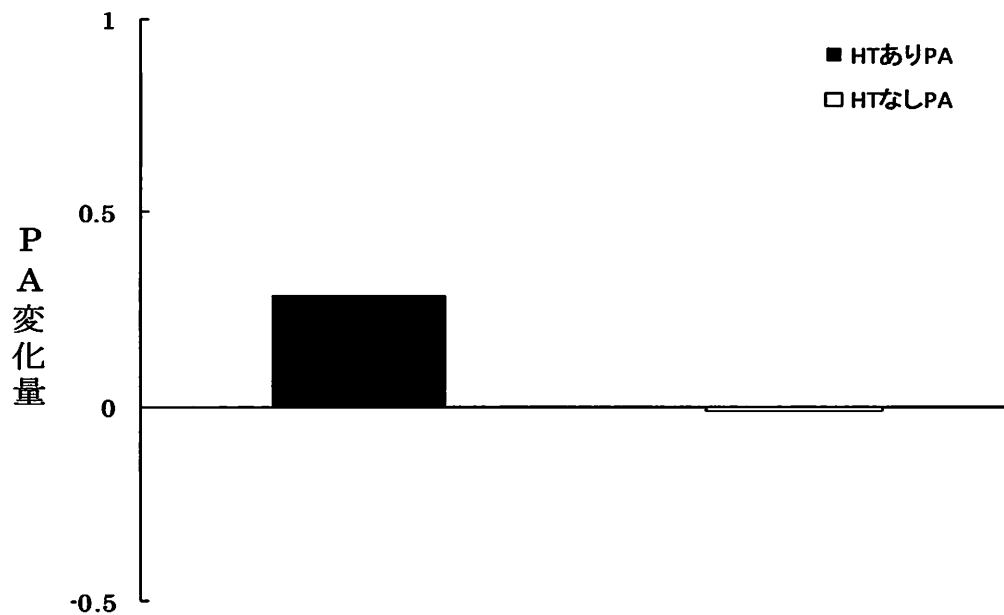


図 10. 各条件における PA の変化量

PA の変化量は、ヘッドトラッキングあり条件のほうが若干大きかった。ヘッドトラッキングなし条件は、ほぼ PA が変化しなかった。条件の違いが、PA 得点の変化量に及ぼす影響について検討するために、 $t$  検定を行ったところ有意差は見られなかった ( $t(10)=1.46, n.s.$ )。

次に、NA の変化量について図 11 に示した。

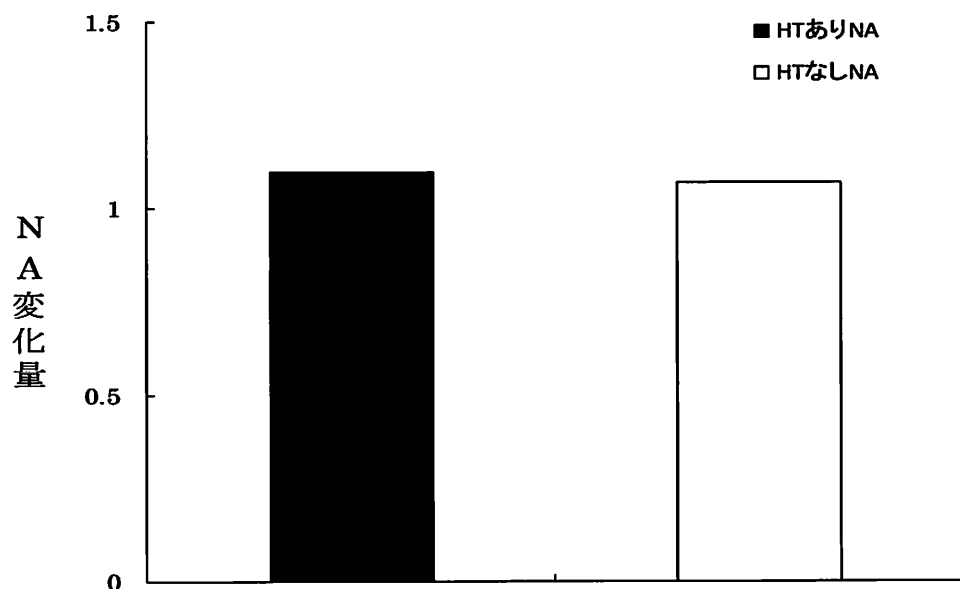


図 11. 各条件における NA の変化量

ヘッドトラッキングあり条件、ヘッドトラッキングなし条件どちらの条件においても、NA は上昇しているが、条件の違いによつての差はないように見える。

条件の違いが、NA 得点の変化量に及ぼす影響について検討するために、 $t$  検定を行ったところ有意差は見られなかった ( $t(10)=.08, n.s.$ )。

次に CA の変化量について図 12 に示した。

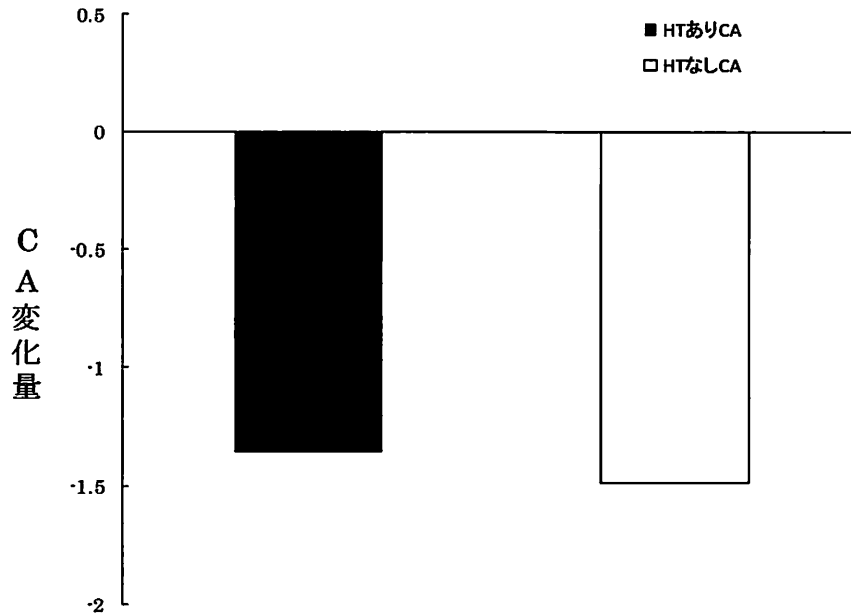


図 12. 各条件における CA の変化量

ヘッドトラッキングあり条件、ヘッドトラッキングなし条件どちらにおいても CA 得点は下降した。ヘッドトラッキングなし条件のほうが若干ではあるが、変化量が大きかった。条件の違いが、CA 得点の変化量に及ぼす影響について検討するために、 $t$  検定を行ったところ有意差は見られなかった ( $t(10)=.67, n.s.$ )。

次に、没入感尺度の結果について図 13 に示した。

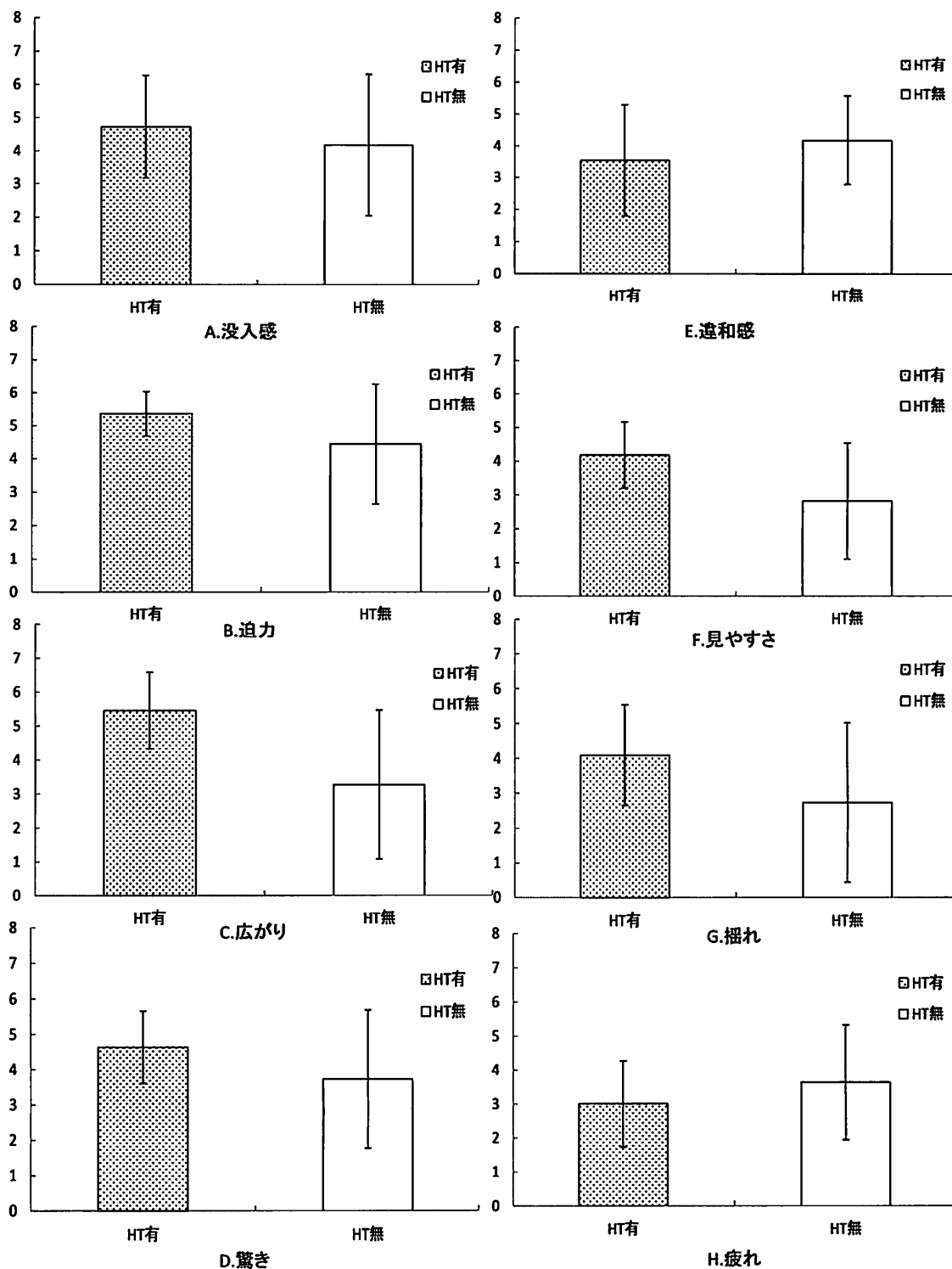


図 13. 各条件における没入感尺度得点

条件の違いが没入感に与える影響を調べるために  $t$  検定を行ったところ、有意差は認められなかった ( $t(11)=.89$  n.s.)。

条件の違いが迫力に与える影響を調べるために  $t$  検定を行ったところ、有意差は認められなかった ( $t(11)=1.39$  n.s.)。

条件の違いが広がりを与える影響を調べるために  $t$  検定を行ったところ、1%水準の有意差が認められた ( $t(11)=1.94$   $p<.01$ )。

条件の違いが驚きに与える影響を調べるために  $t$  検定を行ったところ、有意差は認められなかった ( $t(11)=1.13$  n.s.)。

条件の違いが違和感に与える影響を調べるために  $t$  検定を行ったところ、有意差は認められなかった ( $t(11)=1.75$  n.s.)。

条件の違いが見やすさに与える影響を調べるために  $t$  検定を行ったところ、5%水準の有意差が認められた ( $t(11)=2.36$   $p<.05$ )。

条件の違いが揺れに与える影響を調べるために  $t$  検定を行ったところ、有意差は認められなかった ( $t(11)=1.80$  n.s.)。

条件の違いが疲れに与える影響を調べるために  $t$  検定を行ったところ、有意差は認められなかった ( $t(11)=1.43$  n.s.)。

次に、独自尺度について図 14 に示した。

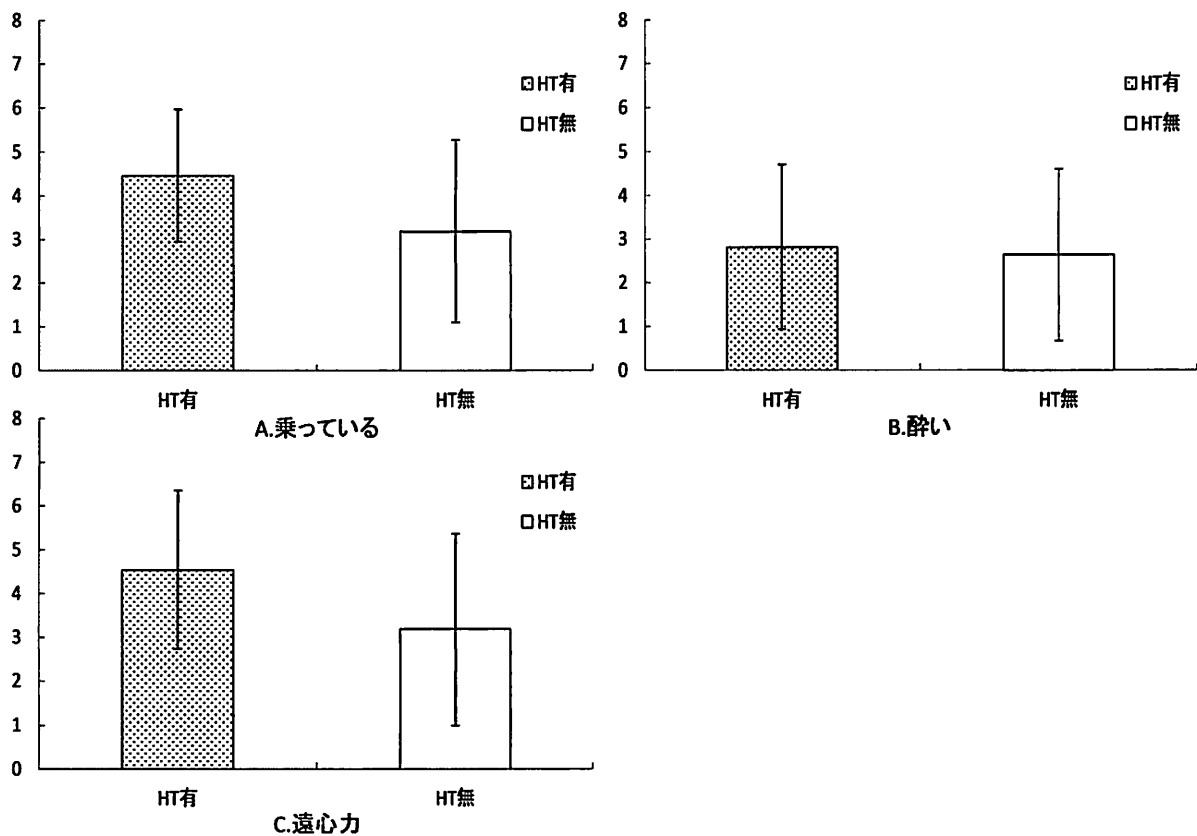


図 14 各条件における独自尺度得点

条件の違いが乗っている感に与える影響を調べるために  $t$  検定を行ったところ、有意差は認められなかった ( $t(11)=1.72$  n.s.)。

条件の違いが没入感に与える影響を調べるために  $t$  検定を行ったところ、有意差は認められなかった ( $t(11)=.25$  n.s.)。

条件の違いが没入感に与える影響を調べるために  $t$  検定を行ったところ、有意差は認められなかった ( $t(11)=1.57$  n.s.)。



## 考察

アプリケーション遂行中、あるいは動画視聴中、PVは大きく低下し、SCは大きく上昇したが、HRに関しては明確な変動はあまり生じていなかった。PVの低下は、一過性の血管収縮を反映し、これは交感神経活動の高まりを意味する(澤田, 1998)。またSCの上昇は、指における発汗活動の増加を反映し、こちらも交感神経活動によるものである(高澤, 2012)。このような交感神経活動の高まりを生じたことから、実験刺激は相応の感情変化を伴うものであったと言える。これは、NAが大幅に上昇し、CAが大幅に低下していることから裏付けられる。課題中にHRがそれほど変動しなかったのは一見不可解であるが、これについては注意による影響が考えられる。寒冷昇圧、計算、スピーチ、鏡映描写の4課題を比較した長野(2012)では、鏡映描写課題中にはHRがほとんど上昇しないという事が報告された。これは、視覚刺激への注意が心臓迷走神経活動を強め、結果としてHRを低下させるためと考えられている。頭部に装着するHMDを介した映像呈示は、多くの参加者にとって初めての体験であり、CGで精緻に作りこまれた街並みも、参加者に強い興味を抱かせた事が想像できる。このような理由から、本研究で用いた課題も、鏡映描写課題同様に、視覚刺激に対する強い注意が生じる課題であったためといえるだろう。

ヘッドトラッキング機能の効果については、没入感尺度の多くの項目において有意な差が見られると予測したが、ヘッドトラッキング機能の有無により有意な差が見られたのは、「見やすさ」と「広がり」の項目のみであり、「没入感」や「迫力」等その他の項目には差が見られなかった。主観的感情に関しても、ヘッドトラッキング機能の有意な効果は統計的には見られなかったが、ヘッドトラッキング機能あり条件でPA上昇がやや多いように見えた。このような結果は、多くの参加者が「没入感」という言葉に親しみがないうえに適切に回答することができず、かろうじて「楽しい」という感情として認知されたものと理解できるかもしれない。独自尺度に関しても、いずれの項目においても有意な差はみられなかった。このように、質問紙による評価からは、ヘッドトラッキング機能の有意な効果は一切見出さなかったが、HRに関しては有意な交互作用が認められた。約2分の課題期を前半・後半に分けて分析すると、ヘッドトラッキング機能なし条件では前半・後半ともにやや心拍数が下降するに留まるのに対し、ヘッドトラッキング機能あり条件では、前半に顕著に上昇し、後半にやや下降する結果となった。ヘッドトラッキング機能あり条件のHR変化は、アプリケーションの前半に急激に降下する場面が集中し、後半は比較的なだらかである事を反映しているように思える。ヘッドトラッキング機能あり条件においては、映像を自分に生じた出来事と感じたのに対し、ヘッドトラッキング機能なし条件ではただの映像視聴体験ととらえた可能性が考えられるだろう。

以上の結果から、ヘッドトラッキング機能の効果は主観的指標ではとらえにくく、生体情報、特にHRの変化として反映されやすいと言えた。本研究では、HMDを初体験の参加者が大半であり、ヘッドトラッキング機能を十分に使いこなせているとは言えなかった。実際にジェットコースターアプリケーションを体験する前に、ヘッドトラッキング機能を違和感なく使えるようになるまで順応させる期間があると、より没入感が高まるのではないかと考えた。さらに、将来的には映像に連動して動く装置や、風や匂いを感じることでできるウェアラブルデバイスと併せて使用することで没入感が高まるのではないかと考えた。

## 引用文献

Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Science*, 4, 14-21.

松島一浩・佐藤美恵・春日正男・橋本直己 (2011). 室内空間における魚眼レンズを用いた没入型映像呈示の検討. *映像情報メディア学会誌*, 65, 1011-1015.

長野祐一郎 (2012) フィジカルコンピューティング機器を用いたストレス反応の測定, *ストレス科学研究*, 27, 80-87.

澤田幸展 (1998). 血行力学的反応. 宮田洋 監修, 藤澤清・柿木昇治・山崎勝男 編 *新生理心理学 第1巻 生理心理学の基礎* 北大路書房 pp.172-194.

高澤則美 (2012). 自律神経活動の研究方法. 山崎勝男監修 *スポーツ精神生理学* 西村書店 pp. 67-81.

渡辺哲也・西尾修一・小川浩平・石黒浩 (2011). 遠隔操作によるアンドロイドへの身体感覚の転移, *電子情報通信学術論文誌*, 94, 86-93.