

拡張現実および裸眼立体視システムの観測誤差の比較

Comparison of observation errors between Augmented Reality and Spatial Reality systems

有輪政尊¹, 板宮朋基², 小泉創¹, 山口徹太郎¹
Ariwa M¹, Itamiya T², Koizumi S¹, Yamaguchi T¹

¹神奈川歯科大学歯学部歯科矯正学講座歯科矯正学分野

²神奈川歯科大学歯学部総合歯学教育学講座教養教育学分野

¹Department of Orthodontics, Kanagawa Dental University

²Department of Dental Education, Kanagawa Dental University



applied sciences

an Open Access Journal by MDPI



CERTIFICATE OF ACCEPTANCE

Certificate of acceptance for the manuscript ([appls-ci-1464312](#)) titled:
Comparison of observation errors between Augmented Reality and Spatial Reality systems

Authored by:

Masataka Ariwa; Tomoki Itamiya; So Koizumi; Tetsutaro Yamaguchi

has been accepted in *Appl. Sci.* (ISSN 2076-3417) on 15 December 2021



Basel, December 2021

神奈川歯科大学学会 COI開示

発表者名：有輪政尊, 板宮朋基, 小泉創, 山口徹太郎

演題発表に関連し、開示すべき
COI関係にある企業などありません

【目的】

〈AR(Augmented Reality)〉

バーチャルリアリティ(VR)や拡張現実(AR)といった3D技術の発展は近年著しい。しかしAR用ヘッドマウンティッドディスプレイ(HMD)本体の技術的な制約により、1.0m以下の近距離に配置した3D-CGモデルの立体表示精度が不十分である可能性がある。

本研究では、従来のAR用HMDと裸眼立体視が可能な空間再現ディスプレイ(Spatial reality display : SRD)の2種類のデバイスによる同一3D-CGモデルの立体表示精度について、観測誤差の比較検討を行った。

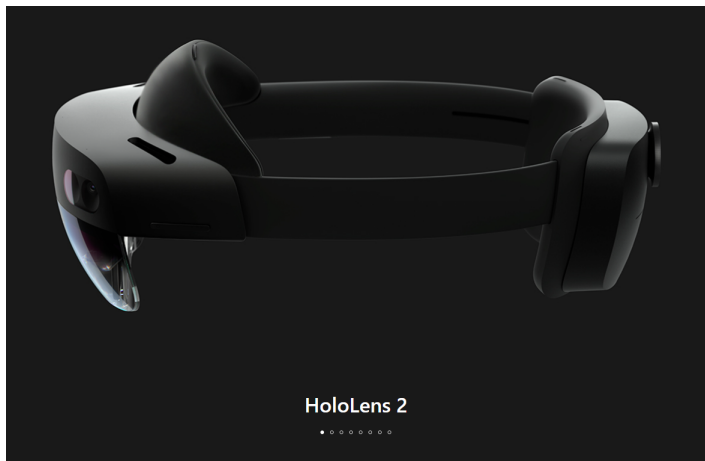


図1. HoloLens2

<https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens/hardware>



図2. ELF-SR1

<https://www.sony.jp/spatial-reality-display/products/ELF-SR1/>

Condino, S.; Turini, G.; Parchi, P.D.; Viglialoro, R.M.; Piolanti, N.; Gesi, M.; Ferrari, M.; Ferrari, V. How to Build a Patient-Specific Hybrid Simulator for Orthopaedic Open Surgery: Benefits and Limits of Mixed-Reality Using the Microsoft HoloLens. *J. Health Eng.* **2018**, *2018*, 5435097.

【資料】

〈測定用アプリケーションの制作〉

実体モデル(D13-509. NISSIN)をコントロールとし、3D-CGモデルをiTero element2 (Align Technology)にて作成した。測定基準の一貫性の担保のため測定部のマーキングをblender (Blender Foundation)にて行った。

Unity (2019.4.14)にてOBJデータを出力するアプリケーションを作成、Microsoft Visual Studio Community (2019.Version 16.8.2)にて出力した(図3)。

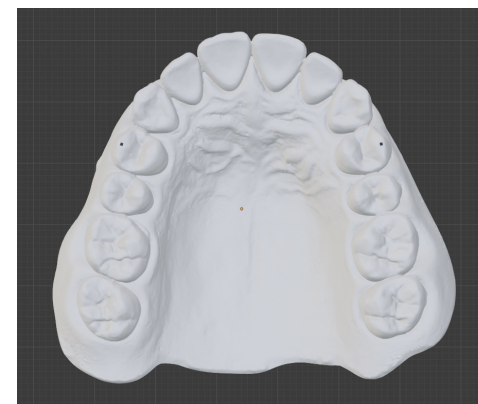
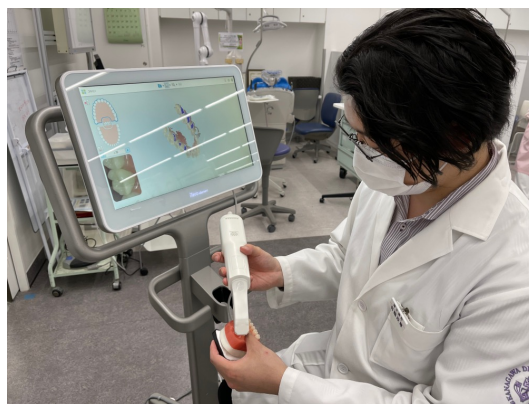


図3.測定模型
実体モデル

モデルスキャン

3D-CGモデル

【方法】

〈測定部位〉

歯科矯正臨床での模型計測項目の1つである歯列弓幅径を選択した。歯列弓幅径とは第一小臼歯頬側咬頭頂間を結ぶ距離と定義される。

〈模型位置〉

視軸と測定方向が観測誤差に与える影響の検討のため実体モデル及び3D-CGモデルは正面(Horizontal)と右に90°回転させた状態(Depth)の2条件で測定を行った(図4)。

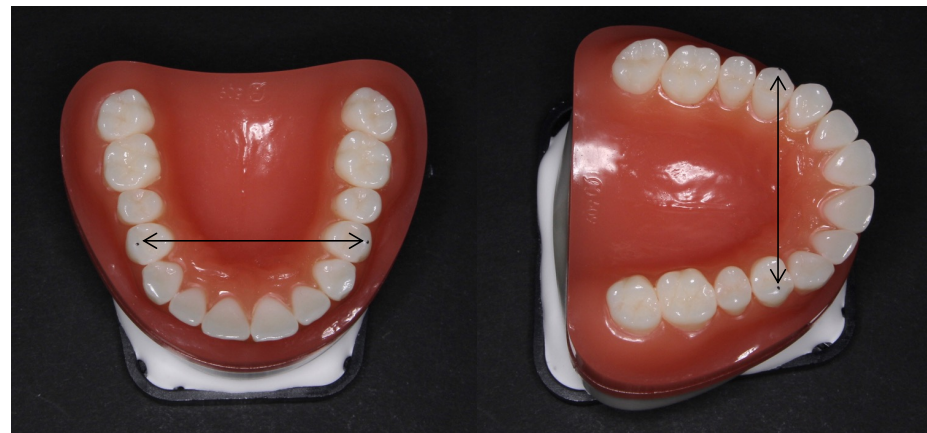


図4. 模型位置
Horizontal

Depth

【方法】

〈測定姿勢〉

臨床での使用状態を想定し測定姿勢は座位(Sitting posture:SP)と立位(standing posture:StP)の2条件で行った(図5)。

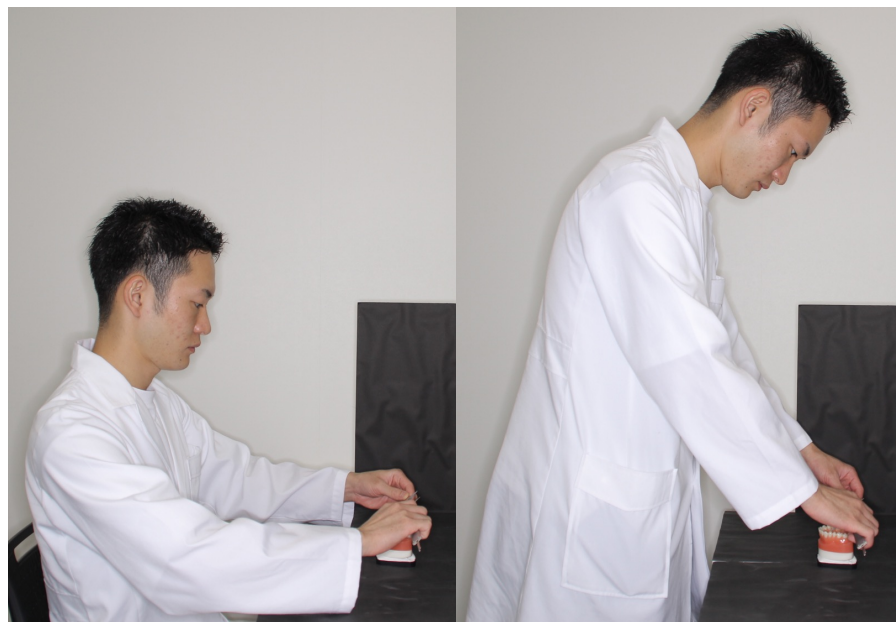


図5. 測定姿勢

Sitting posture(SP)

standing posture(StP)

【方法】

〈測定〉

実体モデル(Model)と空間内に立体表示した3D-CGモデル(HMD・SRD)の歯列弓幅径を精密デジタルノギスにて徒手的に測定した。測定には自己許容誤差が0.03mm未満のデジタルノギス(SHINWA, 19975, Niigata, Japan)が使用された。すべての測定は0.01mm刻みで行われ、バイアスの影響を避けるため測定者は測定値を隠されて測定した。1項目の計測につき3回計測を行った。

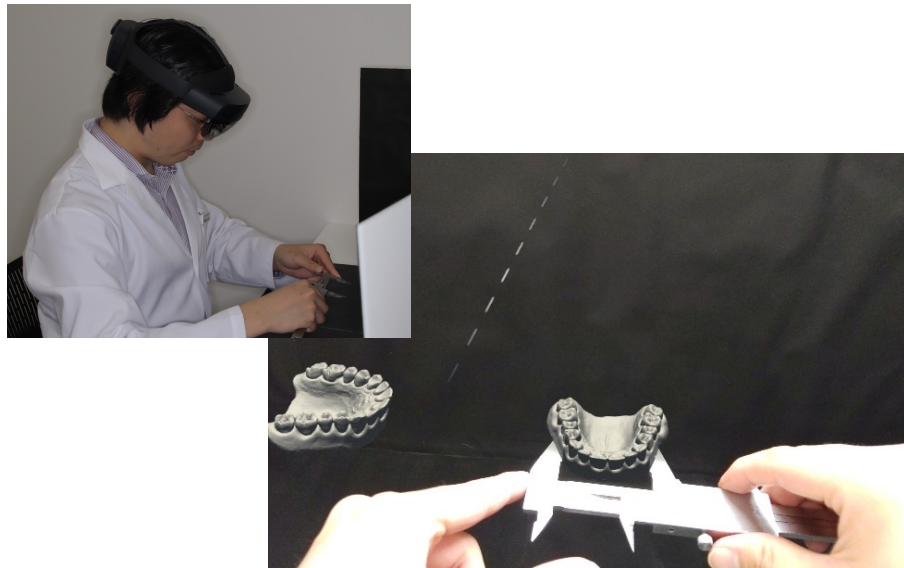


図6. 測定時の3D-CGモデル
Hololens2(HMD)



ELF-SR1(SRD)

【方法】

〈測定〉

測定後、実体モデルを100%とした各デバイスの空間内立体表示の明瞭度と立体度を視覚的評価(VAS)にて評価した。

2週間後に再度測定を行い測定信頼性を評価した。



図6. 測定時の3D-CGモデル
Hololens2(HMD)



ELF-SR1(SRD)

【結果】

HMDはSP及びStPでのHorizontalの測定においてSRD、Modelに比べ有意に大きい値を示した。

	Posture	Direction	Mean	SD
Model	SP	Horizontal	42.77	0.38
		Depth	42.52	0.40
	StP	Horizontal	43.46	0.33
		Depth	43.29	0.37
HMD	SP	Horizontal ^{*,†}	44.70	0.78
		Depth	42.82	1.55
	StP	Horizontal ^{‡,§}	45.16	0.61
		Depth	43.66	1.00
SRD	SP	Horizontal	42.80	0.32
		Depth	42.11	0.77
	StP	Horizontal	42.87	0.37
		Depth	43.27	0.63

Wilcoxon signed-rank test ($\alpha = 0.01$).

*: HMD + SP + Horizontal vs. Model + SP + Horizontal (T = 6 p = 0.0035).

†: HMD + SP + Horizontal vs. SRD + SP + Horizontal (T = 5 p = 0.0028).

‡: HMD + StP + Horizontal vs. Model + StP + Horizontal (T = 7 p = 0.0042).

§: HMD + StP + Horizontal vs. SRD + StP + Horizontal (T = 0 p = 0.00098).

表1. Wilcoxon signed rank test ($\alpha=0.01$)

【結果】

2週間後に再測定した SP の水平測定の結果、信頼性に問題がないことが確認された (ICC > 0.78)。Bland-Altman解析の結果、Modelは14名中14名、HMDは14名中12名、SRDは14名中13名が信頼区間内の結果を得ている。

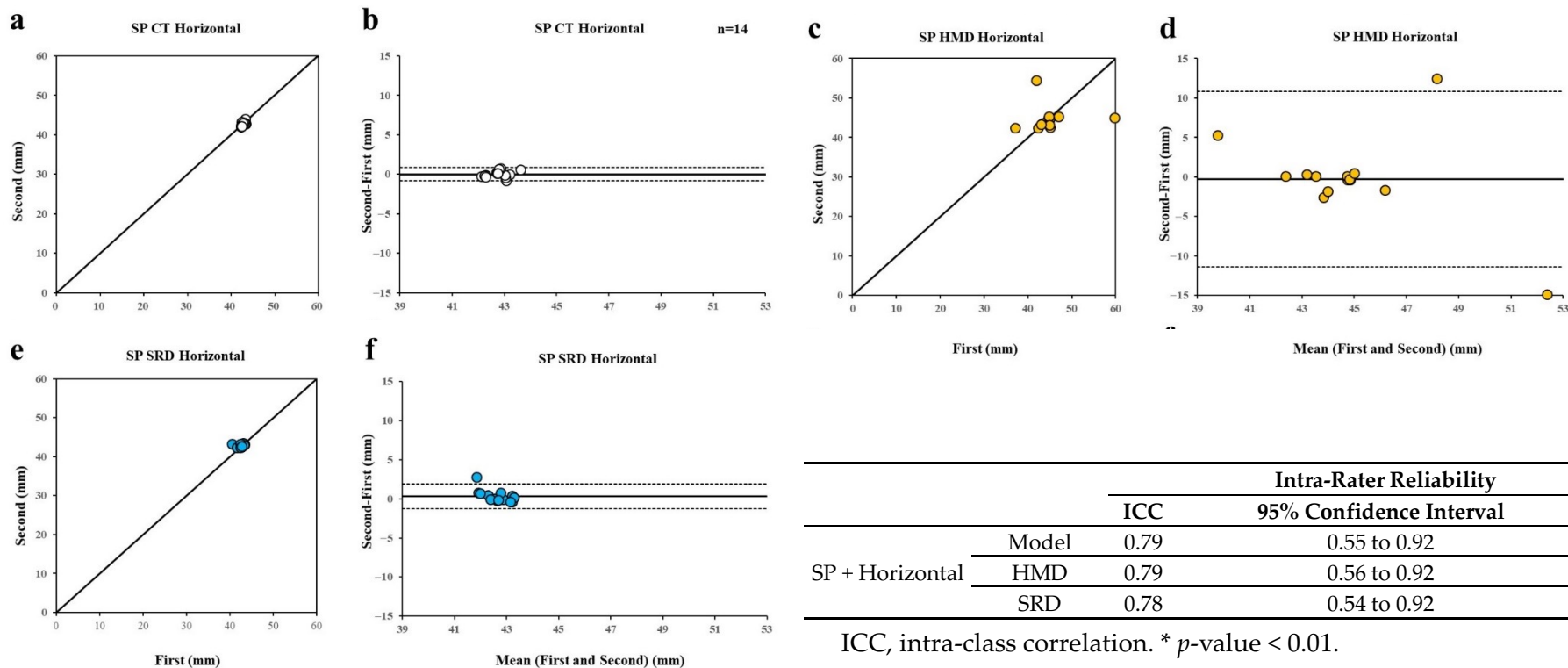


図7. Bland-Altman analysis of first and second measurements.

表2. Intra-rater reliability of 14 raters.

【結果】

HMDでのStPのHorizontal、SRDでのすべての測定項目においてModelとの一致性が確認された。同条件でのすべての測定においてHMDはSRDと比べて大きな系統誤差が確認された。HMDの測定値はSRDと比べてすべての項目で大きな分散を示している。

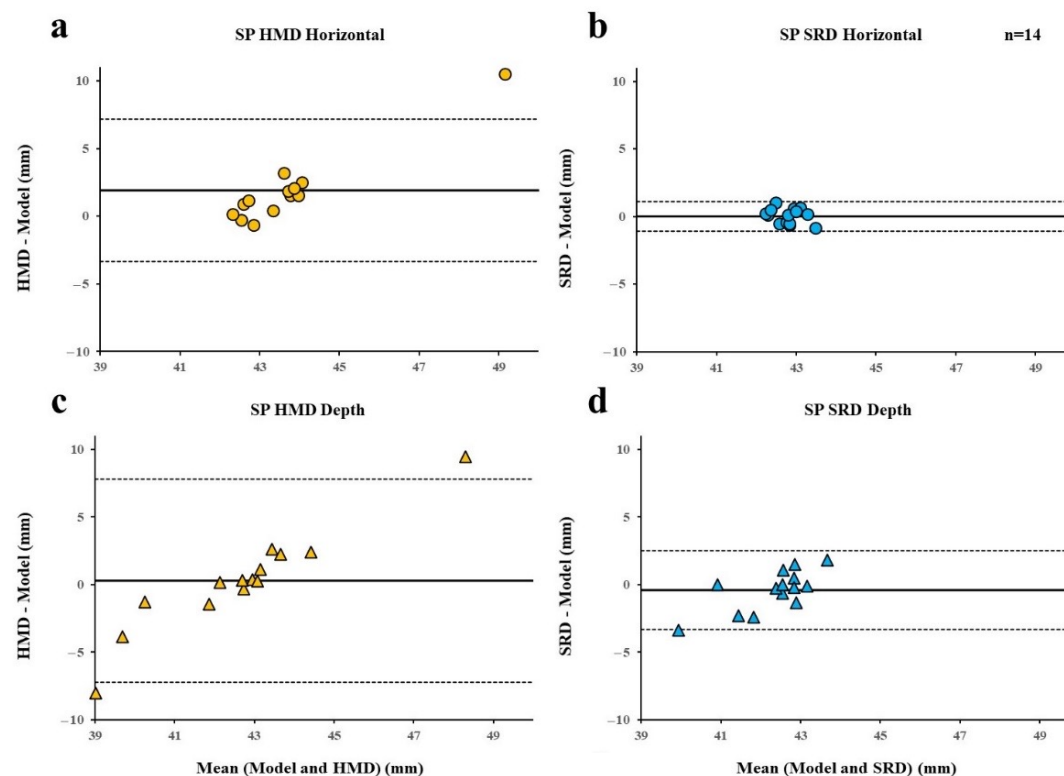


図8. Bland–Altman analysis of the measurements by condition.

【結果】

HMDでのStPのHorizontal、SRDでのすべての測定項目においてModelとの一致性が確認された。同条件でのすべての測定においてHMDはSRDと比べて大きな系統誤差が確認された。HMDの測定値はSRDと比べてすべての項目で大きな分散を示している。

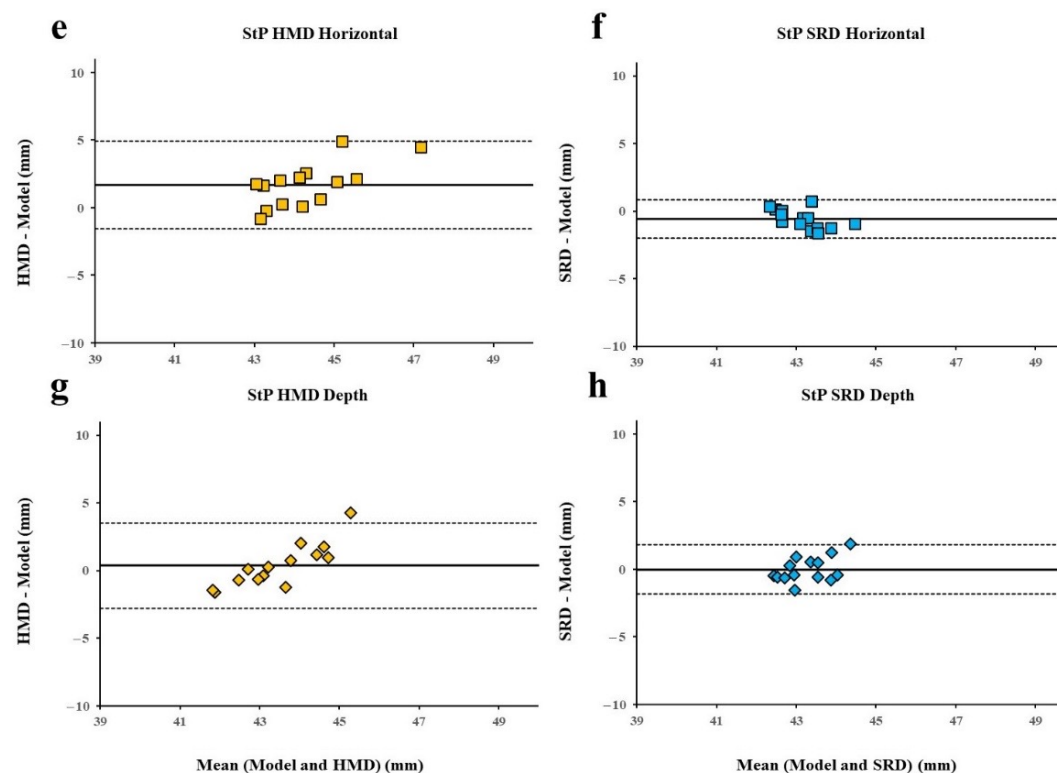


図9. Bland–Altman analysis of the measurements by condition.

【結果】

明瞭度のVASの平均はHMDで 57.5 ± 17.2 、SRDで 88.7 ± 7.3 でありSRDが有意に大きな値を示した($T=0$ $p=0.00015$)。立体度のVASの平均はHMDで 72.4 ± 14.6 、SRDで 83.6 ± 14.6 であり有意差を認めなかった。SRDの明瞭度; 88.7 ± 7.27 、立体度; 83.6 ± 14.6 において極めて高い正の相関を示した($r=0.93$ $p=0.00$)。

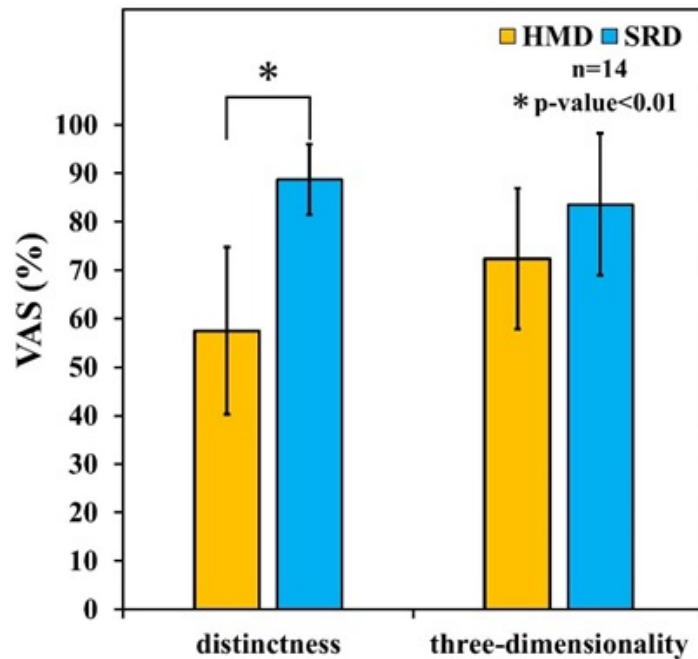


図10. Three-dimensionality and distinctness of HMD and SRD compared with those of the Model.

			Distinctness		Three-Dimensionality	
			r	p Value	r	p Value
HMD	SP	Horizontal	0.484	0.079	0.232	0.426
		Depth	0.198	0.498	0.026	0.931
	StP	Horizontal	0.037	0.900	0.017	0.954
		Depth	0.185	0.527	0.122	0.678
SRD	SP	Horizontal	0.128	0.663	0.098	0.738
		Depth	0.285	0.323	0.230	0.429
	StP	Horizontal	0.137	0.642	0.119	0.685
		Depth	0.037	0.900	0.043	0.885
HMD	Three-dimensionality		0.413	0.142		
SRD	Three-dimensionality *		0.927	0.000		

Pearson's correlation coefficients ($\alpha = 0.01$).

* SRD + distinctness vs. SRD + three-dimensionality ($p = 0.000$).

表2. Measurement error and correlation coefficients of distinctness and three-dimensionality.

【考察】

HMD:Hololens2

本実験ではHorizontalの測定にて有意的な差を認めた。Modelとの差はSPにて1.92mm、StPにて1.70mmであり、Depthの測定では有意的な差を認めなかった。一般的なHMDでは表示する3D-CGモデルに1.0m以上の距離が必要であり、本実験に使用したHoloLens2では約2.0mの固定焦点距離が推奨されている。焦点距離と輻輳距離の不調和をきたすため近距離での使用は3D-CGモデルの認識に影響を及ぼすことが報告されている。

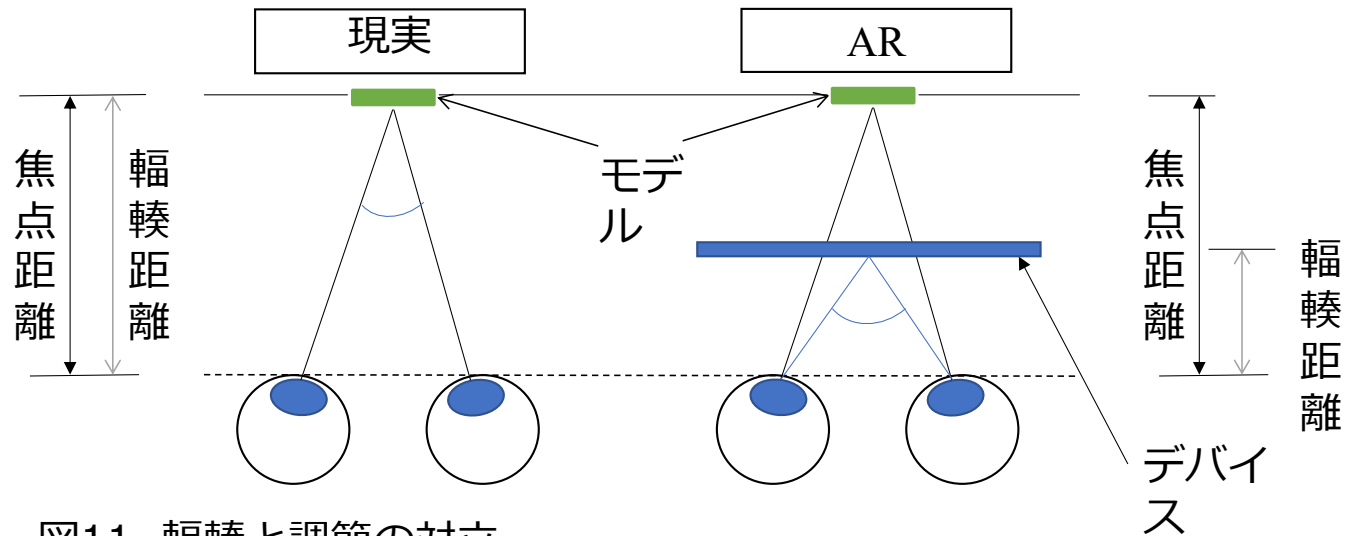


図11. 輻輳と調節の対立

実際の焦点距離よりも輻輳距離が近位となる。

【考察】

SRD:ELF-SR1

本実験ではすべての測定において有意的な差は確認されなかった。

Modelとの差は-0.58~0.02mmでありBland-Altman analysisからも測定の一貫性が示唆される。SRDはこれまでのHMDと異なったシステムにより3D-CGモデルの立体視を実現しており搭載されたカメラにより測定者の目を正しく認識し画像データを変換、ディスプレイから左右の視覚に調節された画像を放出し裸眼立体視を表示する。推奨される使用距離は30.0~75.0cm であり測定結果からも近距離での使用の有用性を示した。

VAS

明瞭度の評価においてSRDはHMDと比べて有意差に大きな値を示した。

HMDでは表示される3D-CGモデルが現実の物体に重なるため明瞭度の評価に影響を及ぼした可能性がある。Bland-Altman analysisでの測定結果の分散も同様の影響の可能性が示唆される。

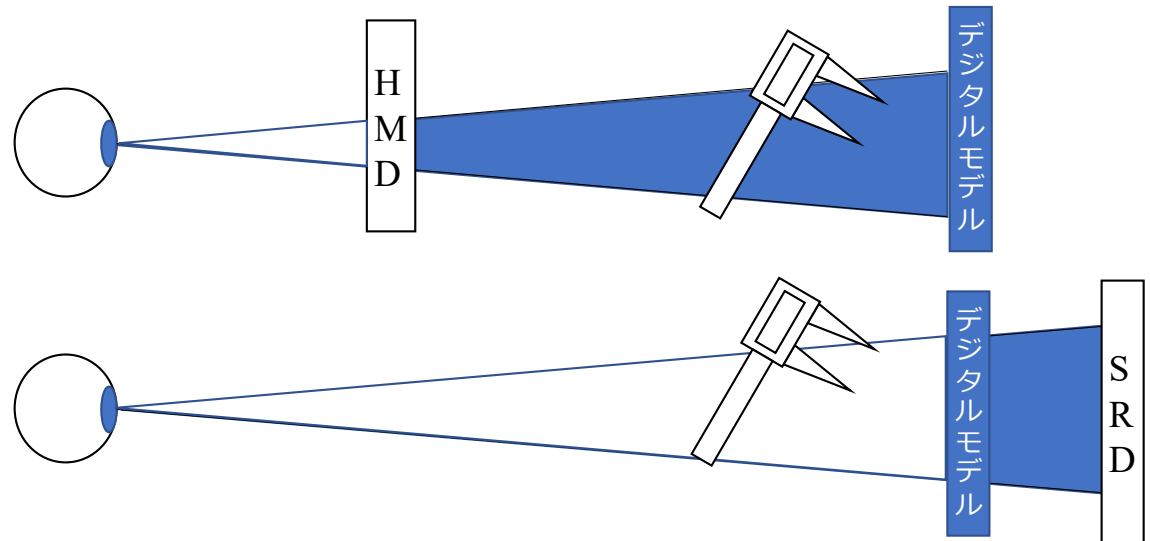


図12. デジタルモデルの位置関係
緑色のエリアでは表示される3D-CGモデルの重なりがみられる。

【結論】

本実験ではHMDとSRDの2つの異なるシステムのARデバイスを用いて空間内に立体表示された3D-CGモデルの視認性の正確性を評価した。本実験ではHMDとSRDでの1.0m以内での3D-CGモデルの視認性の評価を行った。測定された誤差はHMDでは0.29~1.92mm、SRDで0.02~0.59mmである。1.0m以内でのHMDの使用には仕様上の制限が存在し、測定値からも示された。SRDの使用推奨距離は35.0~70.0cmであり従来のHMDと異なったシステムにより立体視を行う。SRDは測定精度の結果から実体モデル(Model)と同等の精度と評価できる。近距離での立体視においてSRDはHMDと比べて有効性を示している。今後のARデバイスの活用において各デバイスの特性を考慮した使用の選択は重要であり、3D-CGモデルの視認性の精度結果は今後のAR技術の応用において有意義である。

Condino, S.; Turini, G.; Parchi, P.D.; Viglialoro, R.M.; Piolanti, N.; Gesi, M.; Ferrari, M.; Ferrari, V. How to Build a Patient-Specific Hybrid Simulator for Orthopaedic Open Surgery: Benefits and Limits of Mixed-Reality Using the Microsoft HoloLens. *J. Health Eng.* 2018, 2018, 5435097.

Itamiya, T.; To, M.; Oguchi, T.; Fuchida, S.; Matsuo, M.; Hasegawa, I.; Kawana, H.; Kimoto, K. A Novel Anatomy Education Method Using a Spatial Reality Display Capable of Stereoscopic Imaging with the Naked Eye. *Appl. Sci.* 2021, 11, 7323.