



歩行時における障害物回避能力の学習支援に向けた VR 環境の構築 - 狭い隙間を通過する課題の再現 -

近藤夕騎, 福原和伸, 樋口貴広

首都大学東京大学院 人間健康科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1, kondo.ncnp@gmail.com)

概要: 高齢者の中には、環境に応じて行動を微調整することが困難になる者がいる。障害物を避けるために、この環境に応じて適切に行動する能力を高める必要がある。しかし、実際の環境を通して、“ぶつかりながら覚える”ことは衝突による転倒や怪我につながり、現実的な練習方法と言えない側面がある。そこで、環境に応じた行動の調整能力を向上させるための VR 環境を構築する。三次元動作解析装置を用いて VR 環境の隙間通過行動を測定し、実環境における隙間通過行動の身体運動特性を再現できているかを検討した。

キーワード: 医療応用, リハビリテーション, 歩行支援

1. はじめに

高齢者の中には、状況に応じて方略を瞬時に微調整することが困難になる者がいる[1]。一般に、こうした行動調整能力は経験を通して改善される側面がある[2]。しかし、高齢者に対して繰り返し障害物回避を行わせるような練習は、衝突を回避できなかった際に痛みや恐怖を体験させる懸念があり、現実的な練習であると言えない側面がある[3]。こうした問題に対して我々は、バーチャルリアリティ (VR) 環境を利用し、隙間通過時の接触回避を衝突なく安全に練習できるシステムを開発した。そこで本研究では、VR システムで測定した接触回避行動 (隙間通過時の体幹回旋) が、実環境における接触回避行動を再現できているかを検討し、障害物回避能力の学習支援に向けた VR 環境を構築することを目的にした。

2. 方法

2.1 実験装置

<VR 環境>

実験で使用する VR 環境はスクリーン投影型システムを使用した。4m 先前方にドア 2 枚の映像を提示して隙間を作成した。個々のドアはパーソナルコンピュータにより制御でき、隙間幅を調整することができる。

三次元動作解析カメラ (OptiTrack, OptiTrack Japan 社製) を用い、モーションキャプチャソフトウェア (Motive, OptiTrack Japan 社製) から VR ソフトウェア (Omega Space, ソリッドレイ研究所社製) へと転送されることで、プロジェクター (Sight3D, ソリッドレイ研究所社製) からリアルタイムに映像が投影される (図 1)。

隙間通過時の体幹の回旋角度を算出するため、把持している平行の棒、VR 環境内のドアの縁の位置情報を座標軸

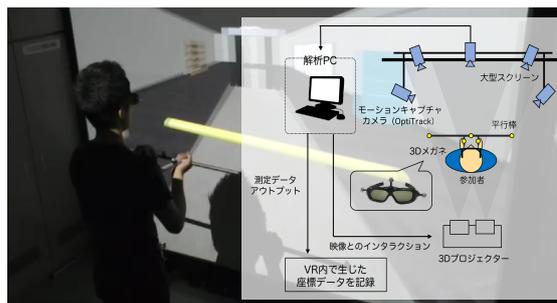


図 1: VR 環境の概略図

のデータとして出力した。平行の棒がドアと接触した場合、視覚的なフィードバック情報として、「HIT」と提示した。なお、VR 環境内での歩行は足踏みで行い、下肢が規定値の高さを越えると、自動的に前方へ進むように設定した。<実環境>

4m 先前方にある黒い塩ビ板製のドアを 2 枚設置して隙間を作成した。個々の塩ビ板はモータ駆動により移動でき、その位置をパーソナルコンピュータにより制御できる。

歩行動作の解析には 13 台の三次元動作解析カメラ (OQU300, Qualisys Sweden 社製) を用いた。反射マーカーを平行の棒に貼り付け、隙間通過時の体幹回旋角度を算出した。

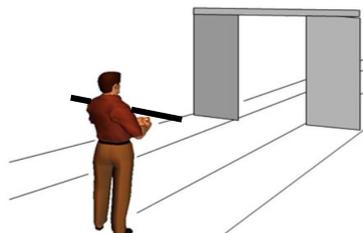


図 2: 実環境の歩行課題

【検証1：VR環境と実環境の隙間通過行動の比較】

2.2.1 実験参加者

参加者は健常成人 10 名（男性 7 名，平均年齢 26.0±5.4 歳）。

2.3.1 実験課題

参加者は体幹前面に対して平行の棒を把持し，隙間を必要に応じて体幹を回旋することで接触しないように入り抜ける課題を，VR 環境と実環境それぞれ 35 施行ずつ実施した。隙間幅は VR 環境，実環境ともに 7 条件（91cm の棒の 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3 倍）であった。

従属変数は隙間通過時の体幹回旋角度とした。統計検定として，環境（VR 環境，実環境）× 隙間幅の 2 要因分散分析を行なった。実環境下で観察される 2 つの現象，①隙間が狭くなるほど体幹回旋角度が大きくなること（隙間幅に対して相対的に体幹の回旋角度が得られている），②一定以上の隙間幅に対して体幹の回旋をせずに入り抜けること（隙間幅の要因に対して多重比較法を行い，平行棒の長さの 1.3 倍の隙間幅と比較して有意差がない隙間幅が存在すること。ただし，実環境の 1.3 倍と比較して VR 環境の 1.3 倍と大きく差がある場合は②の条件は認めず）が確認されたかどうかを根拠に，接触回避特性の再現性が得られたと判断した。

3.1 結果

環境で主効果がみられ ($F(1, 9)=17.37, p<.01$)，VR 環境では実環境と比較して有意に回旋角度が大きかった。隙間幅の要因にも主効果が認められた ($F(6, 54)=114.21, p<.01$)。Bonferroni 法で多重比較をしたところ，隙間幅の要因において，VR 環境では平行棒の長さに対する 1.2 倍から 1.3 倍は有意差はないものの，実環境の 1.3 倍と比較して回旋角度は大きかった。それに対して，実環境では棒に対する 0.7 倍から 1.1 倍にかけて隣接する隙間幅に有意差があり，1.1 倍と 1.3 倍で有意差はなかった。また，交互作用は有意であった ($F(6, 54)=3.62, p<.05$) (図 3)。

4-1. 考察

実験の結果，隙間の大きさに応じた調整については高い再現性を得た。しかし，VR 環境では余分に体幹を回旋する傾向がみられた。この問題を解決するため，検証 2 では

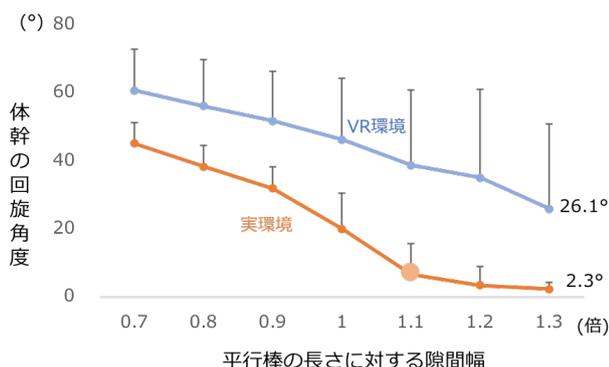


図 3: 実環境と VR 環境の隙間通過行動

大きな回旋を誘導すると考えられる設定の改善を行なった。

【検証2：VRシステムの修正】

2.2.2 実験参加者

参加者は健常成人 10 名（男性 6 名，平均年齢 23.2±3.1 歳）。

2.3.2 実験課題

検証 1 の実験課題を VR 環境のみ，VR システムの修正前後で行なった。VR システムの修正は，a. 平行の棒の出力情報の変更（把持している平行の棒と投影している情報が存在するため，自身で行為を行っている感覚が阻害された可能性），b. 接触時の視覚的フィードバック情報の変更（接触時のフィードバック情報が曖昧であった可能性），c. 移動速度の減速を行なった（体幹回旋の必要性を判断する時間が十分ではなかった可能性）(図 4)。

従属変数は隙間通過時の体幹回旋角度とした。統計検定として，修正の有無（修正前，修正後）× 隙間幅の 2 要因分散分析を行なった。

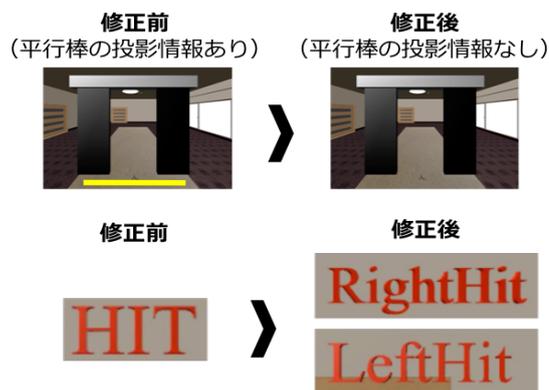


図 4: 平行棒の出力情報・フィードバック情報の修正

3.2 結果

修正の有無で主効果がみられ ($F(1, 9)=26.89, p<.01$)，修正後に有意に回旋角度が小さくなることが得られた。隙間幅の要因にも主効果が認められた ($F(6, 54)=22.16, p<.01$)。また，交互作用は有意でなかった ($F(6, 54)=0.83, p<.47$) (図 5)。

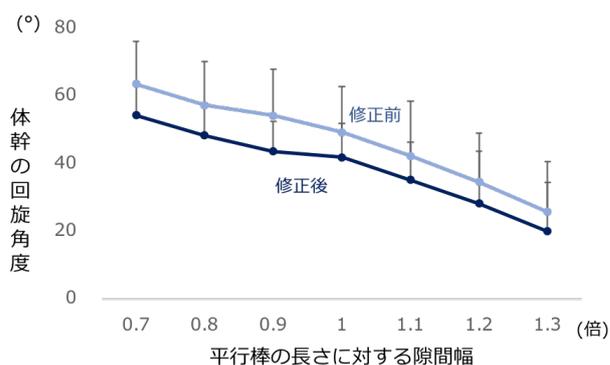


図 5: VR 環境における修正前後の隙間通過行動

4.2 考察

環境を調整することで一定の効果（回旋角度を下げる）が得られた。ただし、一部の参加者において、この条件においても大きな体幹回旋をするものがあることが分かった（図 6）。この理由として、参加者の特性が影響していると考えられた。個人の結果を参照すると、検証 1 の参加者の半分にあたる 5 名の参加者に、隙間幅に対して相対的な体幹の回旋角度が得られず、平行棒の長さに対する隙間幅が 1.3 倍においても体幹の回旋をする現象がみられた。

そこで検証 3 では、隙間通過の際に、「体幹回旋を最小限にとどめること」という制限を設けることで、個人差の解消につながるかを検討した。

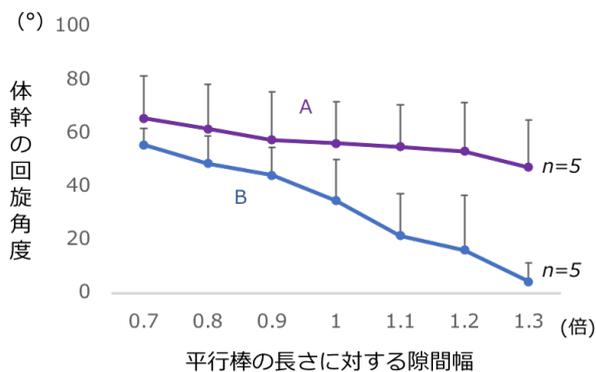


図 6: VR 環境の隙間通過行動には 2 つのグループが存在
A: 1.3 倍でも回旋をする, B: 1.3 倍では回旋しない

【検証 3: 参加者の行動を制約して隙間通過行動の比較】

2.2.3 実験参加者

参加者は健常成人 10 名（男性 5 名、平均年齢 24.7±5.9 歳）。

2.3.3 実験課題

検証 1 の実験課題と同様に行い、狭い隙間を通り抜ける課題を、「最小限の体幹回旋で接触せずに通過する」という制限を設けた上で実環境と VR 環境それぞれ実施した。

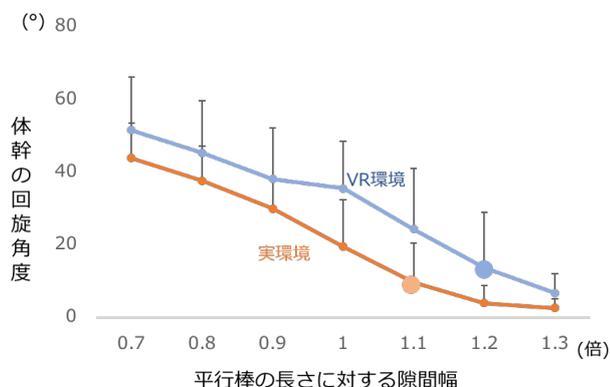


図 7: 制約条件下の実環境と VR 環境の隙間通過行動

従属変数は隙間通過時の体幹回旋角度とした。統計検定として、環境（VR 環境、実環境）× 隙間幅の 2 要因分散分析を行なった。

3.3 結果

環境で主効果がみられ ($F(1, 9)=23.21, p<.01$)、VR 環境では実環境と比較して有意に回旋角度が大きかった。隙間幅の要因にも主効果が認められた ($F(6, 54)=116.78, p<.01$)。Bonferroni 法で多重比較をしたところ、隙間幅の要因において、VR 環境では平行棒の長さに対する 0.7 倍から 1.2 倍にかけて隣接する隙間幅に有意差があり、1.2 倍と 1.3 倍で有意差はなかった。実環境では平行棒に対する 0.7 倍から 1.1 倍にかけて隣接する隙間幅に有意差があり、1.1 倍と 1.3 倍で有意差はなかった。また、交互作用も有意であった ($F(6, 54)=3.51, p<.01$) (図 7)。

このことから、VR 環境では、実環境と比較して大きく体幹回旋をして隙間を通過するものの、制約を設けることにより実環境下で観察される 2 つの現象の再現を得られた。

4.3 考察

出来るだけ体幹回旋をしないという制約条件下では、VR 環境での接触回避行動は実環境での接触回避行動に近づくことがわかった。制約を設けず自由に VR 環境で狭い隙間を通り抜ける課題を行うと、実環境に比べて必要以上に体幹回旋を行い、行動の微調整をせずに隙間を通過していた。実環境に比べて VR 環境で衝突回避を大きくとってしまうという報告がされている[4]。このことから、VR 環境では接触を避けることを優先し、行動を微調整することを疎かにした結果、保守的な行動を選択した可能性が示唆された。

5. 結論

隙間通過時の接触回避行動を再現する VR 環境の構築に成功した。今後、この VR 環境での練習後に、実環境の接触回避の精度を高めるかについて検討していく。

参考文献

- [1] Hackney, A., Cinelli, M.: Older adults are guided by their dynamic perceptions during aperture crossing, *Gait and Posture* 37, pp. 93-97, 2013.
- [2] Franchak, JM, et al.: Learning by doing: action performance facilitates affordance perception, *Vision Res* 50, pp. 2758-2765, 2010.
- [3] 樋口貴広, 建内宏重: 姿勢と歩行 協調からひも解く, 三輪書店, pp. 183-184, 2015.
- [4] Gerin- Lajoie M, et al.: Characteristics of personal space during obstacle circumvention in physical and virtual environments, *Gait and Posture* 27, pp. 239-247, 2008.