MR 上での仮想ペットによるハプティクス体験に関する研究

石丸　巧巳[a]・坂本　眞人[b]

Study on Haptic Experience with Virtual Pets on MR

Takumi ISHIMARU, Makoto SAKAMOTO

Abstract

This is a study on the representation of virtual objects such as pets using VR goggles. We conducted evaluation experiments using a combination of MR technology that has emerged in recent years and Passive haptics, a previous study, to investigate the advantages or disadvantages of using MR. In recent years, there are many psychoses around the world, and pets have been shown to be effective for them. The objective is to realize a more realistic reproduction of virtual pets so that many people who cannot afford pets can enjoy the benefits that pets bring.

Keywords: MR, Haptics, Unity, Virtual pet, VR

1. 研究背景

仮想ペットの歴史は長く、8 ビットコンピュータの時代からあるが、商品化されたのは 1995 年の Petz、1996 年のたまごっち、そしてポケモンやニンテンドッグズなどが良く知られている。仮想ペットに関する研究には主に 2 つのカテゴリーがあり、一つ目は仮想ペットや仮想オブジェクトの作成やデザイン、二つ目はゲームのオブジェクトと環境、ならびにより没入感のある自然なインタラクションを実現するためのフレームワークがある。今回の研究は、二つ目のフレームワークを扱う。

ペットがもたらす良い効果はこれまでの論文で示されている[2,3]。また、厚生労働省の精神疾患を有する総患者数の推移[11]によると、現在日本の精神疾患の患者数は 2017 年で 4193,000 人であり、右肩上がりで増え続けており、大きな社会問題となっている。またこれは日本だけの問題ではなく、WHO によると、あらゆる国での問題となっている[12]。仮想ペットの研究では、これらの問題の完全解決ではなく、仮想ペットを用いての患者数の減少に期待できると考えられている。

今回注目する技術は、MR（Mixed Reality：複合現実）と、VR（Virtual Reality : 仮想現実）ゴーグルを覗いて見える景色と現実のオブジェクトを組み合わせて、実際に触れているように感じさせるハプティクス技術である。MR は現実空間にデジタルな視覚情報を付加して、現実世界を仮想的に拡張する技術とされており、AR（Augmented Reality : 拡張現実）や VR との違いは、現実空間もゲーム内のオブジェクトとして扱うことであり、現在この技術で多くのゲームやアプリが作られている。今回用いるハプティクス技術は医療の手術室や研究室などの特定の場所で特殊な機器を用いて行うものとは違い、家庭で日常的なものを用いてハプティクス体験をしようという VR Haptics at home[1] という論文を参考にしている。今回、実装できなかったものが数多くあり、仮想ペットの要素として必要なものがまだかなり残されているので、それらを提示し、次の研究で改善、追加していきたい。

本研究の目的は、VR 上で現在まで研究されてきたものが、MR 上でも有効となるのか、またどの手法がよりリアルにペットを感じさせるかを検討することであり、そのために MR と VR の比較や、MR の仮想オブジェクトの大きさの比率を変えるなどの実験を行っている。

2. 先行研究

a) 工学専攻先端情報コース大学院生
b) 工学基礎教育センター教授

パッシブハプティクス（Passive Haptics）は、物理的な小道具や環境を再利用して VR や AR に触覚感覚を作り出す技術である。特別な目的のハプティクスデバイスを必要とすることなく、一般的な家庭で枕や椅子、ドアなどのオブジェクトをトラッキングし、VR ゴーグルの映像でそのオブジェクトにあったものを流すことで、疑似的に触れているように感じさせる技術で、より高い精度と柔軟性で仮想オブジェクトを動かすことを可能にすることを目的としている[4, 5]。

2.1 パッシブハプティクス

パッシブハプティクスは、物理的な小道具や環境を再利用して VR や AR に触覚感覚を作り出す技術である。特別な目的のハプティクスデバイスを必要とすることなく、一般的な家庭で枕や椅子、ドアなどのオブジェクトをトラッキングし、VR ゴーグルの映像でそのオブジェクトにあったものを流すことで、疑似的に触れているように感じさせる技術で、より高い精度と柔軟性で仮想オブジェクトを動かすことを可能にすることを目的としている[4, 5]。

2.2 実世界環境を利用した VR

アクティブハプティックシステム（Active Haptic System）とは、パッシブハプティクスの技術と異なり、ルンバのような移動式ロボットを使って VR 上の家具配置に合わせる Roomshift[6]や、同じように移動式ロボットとロボットから出力された圧力を用いて仮想オブジェクトが動いているように再現する MoveVR[7]のように、映像に合わせて自動で現実のオブジェクトを動かす技術であり、コストが高く、サイズが大きく、安全性に懸念がある。アクティブハプティクスシステムの問題を解決するために、現実のオブジェクトを動かすのではなく、現実のオブジェクトを再利用し、複合現実上で再利用したオブジェクトを表示/拡大/縮小/移動/削除することで、現実の拡張を行う研究 Remixed Reality[8]や、現実空間のオブジェクトを再利用して振動、風、熱を表現する Substitutional reality[9]などが行われている。今回の研究では、VR 上で研究されていたこれらの技術が MR 上で再現すべきかを検討し、今後の研究に活かしていくことを目的とする。

3．セットアップと流れ

3.1 あらまし

図 1 の 4 つの図 ABCD が今回の実験の流れとなっており、ここではそれらについて解説する。

まず図 1 の A は、被験者が VR ゴーグルを被り、前方の上部 45 度を見た時に見える光景であり、仮想ペットのネコがおしりを向けて立っている状態になっている。

図 1 の B は、左手か右手の親指と人差し指でネコをつかみ、こちらに少し引っ張って 90 度回転させた状態である。

図 1 の C は、今回パッシブハプティクスを表現するための物理オブジェクトとして用いたクッションの上に図 1 の B で引っ張ってきたネコが乗っている様子である。被験者はクッションと重なるようにネコを置く必要がある。

図 1 の D は、そのクッションをなでることでネコに触れている様子である。ここで注意すべき点は、親指と人差し指がくっついたままだと、ハンドトラッキング（Hand Tracking）が反応してしまうため、手を開いて行う必要があることである。

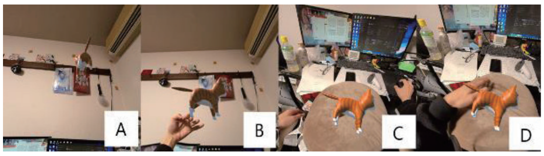

図 1．実験の流れ（左から A、B、C、D の順）．

図 2 は今回の実験の様子である。

図 2．実験の様子．

また、今回 MR 上でのネコの大きさを大きいもの（図 3）と小さいもの（図 1 の C）の 2 点を用意した。今回用いたクッションとネコのサイズの比

率がどちらの方が、クッションをなでていると感じるよりも、ネコをなでていると感じることができるかを調査するためである。手法は図 1 の ABCD の順と同じである。サイズとしては Unity のスケールを x=1.5、y=1.5、z=1.5 としている。小さい方のネコは x=1、y=1、z=1 であるため、それぞれ 1.5 倍の拡大になる。

図 3．大きい方のネコ．

さらに、今回 VR 上のネコ（図 4）にも触れる実験も行った。目的は、MR と VR のどちらの方がリアルに感じるかを調査するためである。なお、VR の方ではネコは小さい方のネコ（x=1、y=1、z=1）を採用した。

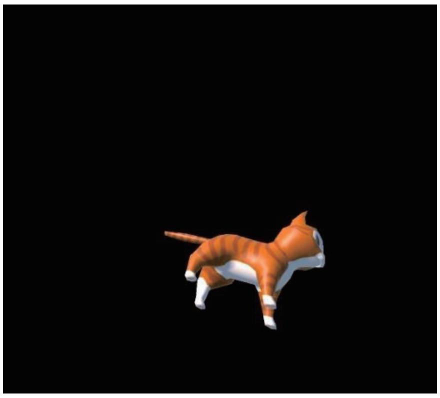

図 4．VR 上でのネコ．

3.2 実験環境

今回開発にあたって必要となるハードウェアの開発環境は、PC、Meta quest 3、Oculus Link ケーブルである。使用ソフトウェア（表 1）と PC のスペック（表 2）は以下の通りである。

表 1．使用したソフトウェア．

Unity 2022.10f1
Oculus Integration 57.0
Oculus XR Plugin 4.1.2
Meta quest Developer Hub

表 2．使用したハードウェアと OS．

CPU	11thGenIntel(R) Core(TM) i7-11700
GPU	NVIDIA RTX 3060 Ti 8GB
Memory	16GB DDR4 SDRAM
OS	Windows 11

4. ユーザ調査

今回の被験者の数は 10 人（男 10/女 0）で 21 歳 1 人、22 歳 7 人、24 歳 2 人を対象としている。なお、VR ゴーグルを付けた経験があると答えた方は 10 人中 8 人であった。

また、今回実験の質問に入る前に“ペットを飼ったことがあるか、または学校などで生物の世話をしたことがあるか”というアンケートを行い、10 人中 7 人があると答えた。あると答えた 7 人に、“ペットの世話で嫌と思ったこと”と“ペットの世話で良いと思ったこと”をアンケートしたところ、嫌な点では、排せつ物の処理（4 人）、散歩の世話（1 人）、餌やり（1 人）があった。また、良い点では、癒される（3 人）、懐いてくれる（1 人）、喜怒哀楽がある（1 人）、もふもふできる（1 人）、かわいい（1 人）があげられた。仮想ペットの利用では、現実のペットの嫌な世話は排除できるが、良い点の毛を触ることができることや、癒されるなどの要素は、今現在実現できていないため、ハプティクス技術には意義があると考えられる。

実施した質問は、触ったときリアルに感じたか（VR）、触ったときリアルに感じたか（MR）、ペットがそこにいるように感じたか（VR）、ペットがそこにいるように感じたか（MR）、ハンドトラッキングは自分の感覚と一致していると感じたか、ペットの大きさは小さい方と大きい方どちらが良いと思ったか、VR と MR のどちらのペットの実現を支持するか。またそれらの理由等の質問

を行った。また、ペットのリアル感を出すために必要だと思うことを自由に記述して頂いた。

5.　結果と考察

5.1 触覚

評価は 5 段階評価で行い、1 を感じないとし、5 をより感じると定義した。グラフの横軸は評価の高さ、グラフの縦軸は評価別で回答した人数を表している。以下、触覚に関する質問に対する回答を図 5 から図 8 に示す。

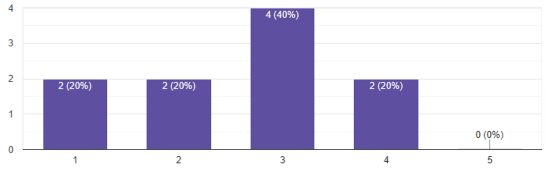

図 5．触った時リアルに感じたか（VR）.

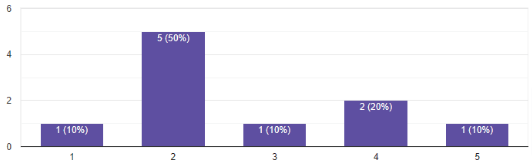

図 6．触った時にリアルに感じたか（MR）.

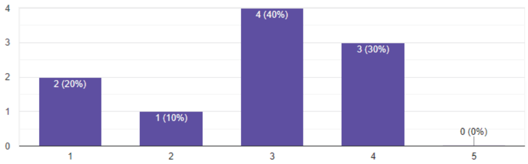

図 7．ペットがいると感じたか（VR）.

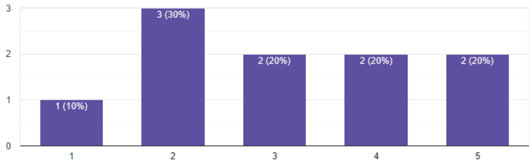

図 8．ペットがいると感じたか（MR）.

図 5 と図 6 より、触った時リアルに感じたかという質問の結果は VR が平均 2.6、MR が平均 2.7 となり、有意差は見られなかった。図 7 と図 8 のペットがそこにいるように感じたかという質問の結果は VR が平均 2.8、MR が平均 3.1 となった。

また、今回実験の途中で被験者に思ったことを逐一報告して頂いた。被験者から得られた意見をまとめると、ペットが必要とする構成要素を満たしていないため VR や MR でネコの 3D オブジェクトがあったところで、ただのオブジェクトとしか認識できないという記述があった。具体的には、撫でたらネコの声を出してほしい、動いてほしい、ネコの毛並みを再現してほしいなどであった。また、被験者の一人から、クッションから飛び出た頭や尻尾を撫でることができないと、途端に現実と違うと感じるという記述があり、今回はネコをハンドトラッキングで動かすという手法をとったが、これは不十分であることがわかった。また、手で撫でている時、仮想オブジェクトの方が手前に見えるため、撫でている手が見えないのが不自然という意見もあった。これは、今回 Oculus Integration における OVR Passthrough Layer の Placement を用いて行ったため表示の順番が仮想オブジェクト→パススルーとなっていたためであるが、これを逆にしてしまうと仮想オブジェクトの表示ができなくなってしまうため、手のみトラッキングし、それを表示することで、手のパススルー→仮想オブジェクト→表示という流れが必要となる。または、手を 3D 再構成し VR として扱うことも考えられる。

5.2　セットアップと流れ

今回用いたハンドトラッキングは Meta のハンドトラッキング API(2.1)であり、図 9 より、ハンドトラッキングの一致性の評価は平均 3.6 と高い評価が出たことから、ハンドトラッキングの精度は十分であることがわかった。しかし、実験中に起こったトラブルとして、手の甲が反応しづらいことや、光量が十分でないと手をカメラが識別できず反応しづらいという場面があった。また、セットアップはシンプルでわかりやすいという意見が多く、難しくよくわからない等の意見はなかった。今回の結果から、家庭で、専用の機器無しにハプティクスを体験する場合は適切な光量が必要であることがわかった。

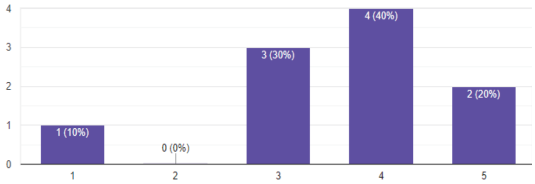

図 9. ハンドトラッキングと自分の感覚は一致していると感じたか.

5.3 MR の可能性

ここでは、今回実施した実験の「VR 空間のネコと MR 空間のネコの比較」と「MR 空間のネコの大きさに」関する結果と考察を行う。

MR 空間上のペットの大きさに関する結果を図 10 に示す。大きい方が良いと思った方が 6 人で、小さい方が良いと思った方が 4 人となり、大きい方がわずかだが上回る結果となった。被験者によると、どちらにも気になる点があり、大きい方は頭や尻尾が撫でることができないことがあげられており、小さい方はクッションのほうが大きいためクッションをなでているように感じるようである。また、被験者からどちらとも言えないという選択肢が欲しかったと言われた。今回の結果が僅差であったことなども含めて考察すると、VR と MR のどちらもまだ先行研究のペットの表現を再現できていないことがわかった。

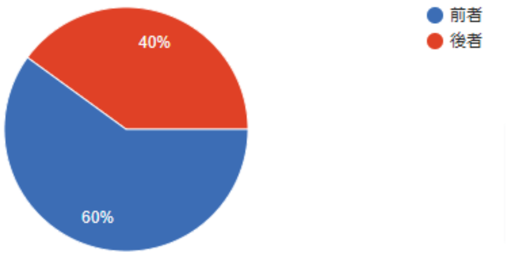

図 10. ペットの大きさは大きい方(前者とする)と小さい方(後者とする)のどちらが良いと思ったか.

図 11 では、VR が良いと思う人は 1 とし、MR が良いと思う人は 5 とした 5 段階評価を行い、結果は平均 3.4 となり、MR のほうが良いという結果になった。しかし、VR のほうが少し良いと思うという評価の 2 に 4 人いるため、人によっては VR の方が優れていると感じている結果も見て取れた。また、その理由について自由に回答してもらった。MR の方が良いとした方には、4 人の方が周りは良く見えた方がペットをよりリアルに感じたという意見であった。VR のほうが良いとした方には、VR の方がゲームとして作るなら面白そうや、MR だとクッションが視界に入るためペットを撫でているという感覚が薄くなったという回答があった。

これらの結果は、VR そのものの問題点である現実を見ることができないという点が関係しており、ペットを飼う時はゲームであるということより、現実であることが求められているからと考えられる。しかし、MR の問題点もあげられており、クッションが視界に入るという問題は、MR 特有の問題で、MR を使う上で必ず通る問題であり、これに対しては自動で精密なトラッキングを行い、クッションが映らないようにする工夫が必要であると考える。

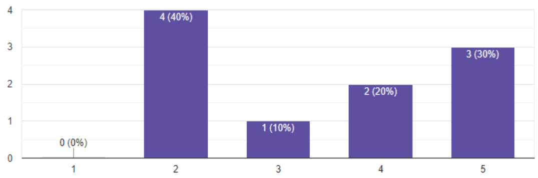

図 11. VR と MR どちらのペットの実現を支持するか.

6. 展望

6.1 ペットを飼うことの構成要素

被験者から得られたフィードバックからペットを表現する上で必要とされるものをここでは考察する。

触れた時や触れずに放置している時に取るペットの行動が必要であると考える。単純なものとしては“撫でると鳴くと”、“お腹が空いたらご飯を食べに行く”、“疲れたら寝る”、“隣の家の犬が吠えたら吠え返す”などの生理的な影響や、“投げたボールを拾って持ってきて撫でられたら喜ぶ”、“机に置いていたケーキを勝手に食べたら怒られた”などの心理的な影響によって、ペットは喜怒哀楽の感情や、飼い主への好感度が変わることで、行動が変化するが、よりリアルなペットの再現へと繋がるものと考える。

6.2 物理オブジェクトと仮想オブジェクトの矛盾の解決

今回の実験での結果として、MR 上でのクッションと仮想ペットの矛盾があった。これは VR 上では細かくトラッキングせずともクッションなどの物理オブジェクトを消すだけでよいが、MR だと消す

ことはできないためである。しかしVR上での研究では専用の装置を用いて精密な物理オブジェクトの仮想オブジェクト化は既にある[10]。また、昨今盛んになっている写真加工の際、いらないものを消す技術や、また消した場所に周りと違和感のない景色を埋め込む技術などを用いてMRの場合でもクッションを見えないようにする可能性はあると考える。

7. おわりに

ペットと人は、長い歴史の間密接に関わり、互いに支え合いながら生きてきた。ペットがもたらす人への良い影響は多いが、現実としてペットが飼えない家や、世話をする時間がないことや、お年寄りなどはペットを飼っても最後まで面倒を見切れるかわからないなど、ペットを飼えない事情は多くあり、そのため仮想ペットの研究が行われてきた。

今回の研究の大きな目的は、2023年10月10日にVRゴーグルの最大手企業の一つであるMeta社から発売された“Meta quest 3”や2024年2月2日に発売されたApple社の“Apple vision pro”などのように現在のVR業界で注目されている“MR”という“現実空間にデジタルな視覚情報を付加して、現実世界を仮想的に拡張する技術”と、従来のVR技術でされてきたハプティクス技術というVRゴーグルを通して見えるオブジェクトと現実のオブジェクトを組み合わせて実際に触れているように感じさせるという研究を組み合わせることで、MRの構造的に現実での仮想オブジェクトを表示した際に現実世界と仮想世界の重なりから生じる矛盾がどの程度仮想ペットを触ることへ影響するかどうかを調べることである。

今回の実験の結果としては、MRの方が良いとする結果もあるが、あまり大きな差はなかった。また、VR上もMR上も不十分な要素があり、再現できなかった多くの先行研究があった。例えば、ネコを触れた時ネコが声や動作で反応することや、オブジェクトの形を認識してそれに合わせて仮想オブジェクトを生成するというものがあった。また、VRとMRの比較以外にもう一つMR上でのペットの大きさの比較も行った。これは今回用いた現実のオブジェクトのクッションより大きいネコと小さいネコのどちらがよりリアルに見えるかどうかを調べるためであり、結果としてはどちらも課題が見つかった。小さいネコの方は、ネコを撫でている際クッションが大きく映ってしまい、没入感が減るという課題であり、大きい方のネコは、頭や尻尾などはみ出した部分を撫でることが出来ないため、没入感が減るというものだった。

今回得られた課題は、MR上でのペットの表現のために必要なものは、ペットの反応や、よりペットらしい動きがまず大前提として必要となる。これはVRやMRという付加的な要素の前にペットとして人間が認識するために必要となる。次に必要なものは、仮想オブジェクトと物理オブジェクトの矛盾を無くすことである。方法としては現実のオブジェクトの形に合わせて仮想オブジェクトを置く。または、仮想ペットの形に合わせて現実のオブジェクトを消去するという方法が考えられる。前者は、今回のように四角いクッションの形に合わせてネコのオブジェクトを作ることは没入感が薄れるので、ペットの形に合った形の物理オブジェクトを用意する必要がある点がネックとなる。これはパッシブハプティクスの自宅で気軽にハプティクス体験をするという理念に反するものでもある。そのため後者が良いと考えられるが、そのためには対象の物理オブジェクトをまわりの景色に同化させる必要がある。現在の画像加工技術では実現できていることであるが、仮想空間上でリアルタイムに行うと要領が大きくなることが考えられる。

次の研究では、MR上のトラッキングと物理オブジェクトの視覚的な消去がペットのMR上での表現に当たって重要と考える。最後に、日頃から有益なアドバイスを頂いた研究室の皆様や、実験を手伝って頂いた他研究室の皆様に感謝の意を表する。

参考文献

[1] Cathy Mengying Fang, Ryo Suzuki, and Daniel Leithinger:“VR Haptics at Home: Repurposing Everyday Objects and Environment for Casual and On-Demand VR Haptic Experiences”, CHI EA '23: Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1-7, 2023.

[2] Adnan I Qureshi, Muhammad Zeeshan Memon, Gabriela Vazquez, and M Fareed K Suri:“Cat ownership and the Risk of Fatal Cardiovascular Diseases. Results from the Second National

Health and Nutrition Examination Study Mortality Follow-up Study”, Journal of vascular and interventional neurology, 2(1), pp.132-135, 2009.
[3] 石原 麻由, 山中 道代, 渡辺 陽子：“犬との関わりが認知症高齢者に与える影響に関する文献検討”, 日本看護研究学会雑誌, 42 巻, 3 号, p.578, 2019.
[4] Florian Daiber, Donald Degraen, André Zenner, Tanja Döring, Frank Steinicke, Oscar Javier Ariza Nunez, and Adalberto L Simeone: “Everyday Proxy Objects for Virtual Reality”, In Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1-6, 2021.
[5] Hunter G Hoffman: “Physically touching virtual objects using tactile augmentation enhances the realism of virtual environments”, In Proceedings. IEEE 1998 Virtual Reality Annual International Symposium (Cat. No. 98CB36180), IEEE, pp.59-63, 1998.
[6] Ryo Suzuki, Hooman Hedayati, Clement Zheng, James L Bohn, Daniel Szafir, Ellen Yi-Luen Do, Mark D Gross, and Daniel Leithinger: “RoomShift: Room-scale Dynamic Haptics for VR with Furniture-moving Swarm Robots”, In Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1-11, 2020.
[7] Yuntao Wang, Zichao Chen, Hanchuan Li, Zhengyi Cao, Huiyi Luo, Tengxiang Zhang, Ke Ou, John Raiti, Chun Yu, Shwetak Patel et al.: “MoveVR: Enabling Multiform Force Feedback in Virtual Reality using Household Cleaning Robot”, In Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1-12, 2020.
[8] David Lindlbauer and Andy D Wilson, “Remixed reality: manipulating space and time in augmented reality”, In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1-13, 2018.
[9] Benjamin Eckstein, Eva Krapp, Anne Elsässer, and Birgit Lugrin: “Smart substitutional reality: Integrating the smart home into virtual reality”, Entertainment Computing Volume31, 100306, 2019.
[10] Anuruddha Hettiarachchi and Daniel Wigdor: “Annexing reality: Enabling opportunistic use of everyday objects as tangible proxies in augmented reality”, In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, pp.1957-1967, 2016.
[11] 厚生労働省：“厚生労働省「患者調査」H29”, 精神疾患を有する総患者数の推移 [Online]. https://www.mhlw.go.jp/content/12200000/000940708.pdf.
[12] World Health Organization: “Depression and Other Common Mental Disorders”, Prevalence of depressive disorders (% of population), by WHO Region, pp.11, 2017.