

Neeuro



Neeuro・プレゼンツ

# 認知機能の健康を向上させる ためのゲーミフィケーション と脳波測定 (EEG)

2022/2023年版ホワイトペーパー

# 認知トレーニングに関する研究論文

本研究では、脳が計画、組織、合理的な決定の実行、タスクの記憶など、多くの機能的思考の側面を制御する能力を有していることが示され、これらの認知能力のパフォーマンスが、日常のタスクの遂行や独立生活の実現に影響を及ぼす重要な要因であることが明確になっている(1-2)。しかし、個人が年齢を重ねるにつれて、身体的および精神的な側面の進行的な変化が生じる(1-2)。例えば、認知の衰えは30代でも早期に発生することがあることが報告され、脳の特定の領域が収縮し、学習や他の複雑な精神活動に影響を及ぼす可能性がある(95)。また、シナプス構造(ニューロン間の通信)の効果が低下することがあり(96)、脳内の血流が減少または遅くなることもある(97)。

それにもかかわらず、健康的な生活様式の採用や精神的な刺激、認知トレーニングなどの認知介入を行うことにより、認知の衰えの発症を遅らせるか予防することが可能である(98)。このアプローチは、国立衛生研究所(NIH)によって行われたメタ研究によっても支持され、認知トレーニングは認知の衰退を予防するための非常に効果的な要因であることが示されている(29)。認知トレーニングは、幼児から高齢者まであらゆる年齢層にわたって効果があることが報告されており(33-44)、流動的および結晶性の知性を向上させる肯定的な役割を果たすだけでなく(3-7)、持続可能であることが示されている(8-10)。また、日常生活への応用も可能である(11-26)。同時に、認知トレーニングは精神的な健康問題を抱える人々に対する効果的な非薬物療法の一つとしても示されている(45-64)。

医療の進歩に伴い、機能的磁気共鳴イメージング(fMRI)や神経画像技術、認知トレーニングが脳の特定の領域に与える直接的な影響を観察することが可能となった(30-32)。これらの進歩は、脳が新しい刺激に適応する能力、つまり神経可塑性があることを示唆し、私たちの生活が脳の訓練と刺激を通じて改善できるという考えを強調している。

総じて、認知トレーニングの効果に関する研究は、認知の衰えに対抗するための強固な科学的基盤を提供していることが明確なのである。

# 脳のためのゲーム



刺激的で具体的な活動への参加は、人々の生活の質を向上させるために不可欠だ。デジタルゲームは、身体的な制約や活動の制約がある人々に対し精神的に活発であるための手段を提供することができる。国立科学財団（NSF）の支援を受け、神経科学者とエンターテインメントの専門家たちは共同して、脳の機能についてより深く理解し、注意力と健康を向上させるための新しいツールを提供するデジタルゲームの開発を始めている[68]。具体的な例として、コンピュータベースの認知トレーニングが挙げられ、シニア向けに記憶力や日常のタスクのパフォーマンスを

向上させることが証明されている[66-67]。今後、健康とテクノロジー産業は、市場にさらに多くの治療に使用可能なゲームを提供する方向に向かっており[69]、メンタルヘルスとウェルビーイングを追求する人々に大きな影響を与える可能性を持っている。



# EGベースの認知 トレーニング

電子脳波計（EEG）の使用は、最近の神経科学分野におけるデジタルゲームの研究者による進展である。多数の研究がデジタルゲームのEEGに及ぼす影響を調査し、参加者の認知能力を向上させる有効な手法であることが明らかになっている。[1]。また、EEGのバイオマーカーと認知機能との間には多くの関連がある。たとえば、シータ脳波活動（4～8 Hz）の活性化と作業記憶の間には高い相関があり[70-71]、ベータ脳波活動（14～30 Hz）は一般的に注意力と関連している[72-73]。視覚空間能力を必要とする課題では、EEGベースの認知トレーニングを受けた参加者の中でアルファ脳波活動（9-13 Hz）を活性化する者が、精神的回転タスクでより優れたパフォーマンスを示した[77]。これらの脳波を誘発する課題に関与させることにより、認知パフォーマンスを大幅に向上させることが可能になる[75]。認知過負荷によるトレーニング中の認知利得の低下の可能性には疑念も残るが、EEGバイオマーカーに基づいた適応型リアルタイム

モニタリングシステムの使用により、これを克服することができる。これにより、精神的な疲労を測定し、効果的に制御できるため、参加者が最高のパフォーマンスを発揮するため、ゲームプレイ中に行われたカスタマイズを体験することができるのだ[74]。総括すると、EEG技術を活用した認知トレーニングはリアルタイムの脳波測定を提供し、参加者の精神状態を正確に示すことを可能にし、認知トレーニングプログラムに組み込まれた適応型要素は、体験の質を向上させ、最大の効果を得る事ができるのだ。

# Neeuro Memorie ゲーム

NeeuroのMemorieモバイルアプリケーションは、NeeuroのEEGヘッドバンドであるSenzeBand 2と組み合わせて、楽しみながらいつでもどこでも脳トレーニングを行う独自のソリューションを提供している。





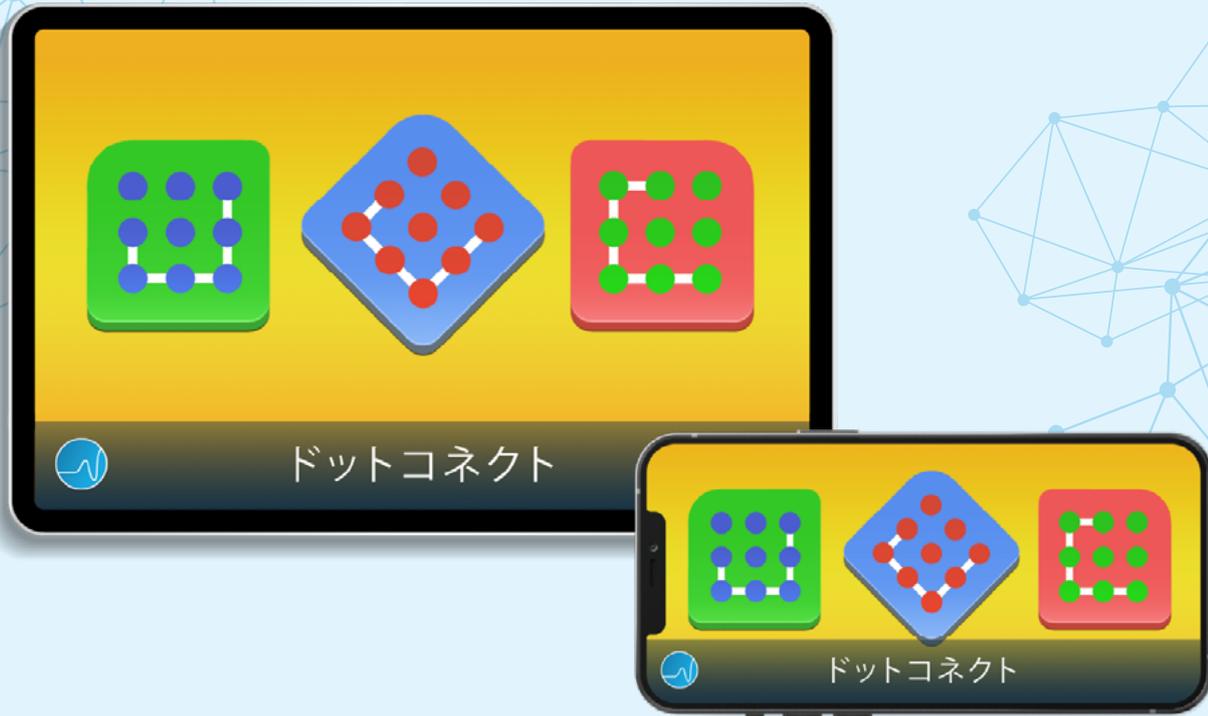
## 寿司リコール

寿司リコールは、認知評価で最も一般的に使用されるn-back課題のゲーム版である。この課題は、作業記憶を測定するために使用される[84]。n-back課題を使用することは、脳の厚みと表面積を増加させ、言語理解、学習、推論などの複雑な認知タスクにおけるパフォーマンスの向上を示すことも示されている[85]。

ゲームプレイ中、プレイヤーはコンベアベルトで供給されるさまざまな寿司の種類を覚えなければならな

い。1つまたは複数の寿司が消えると、プレイヤーは最後の寿司を思い出さなければならない。寿司の消える数は、プレイヤーが次のレベルに進むにつれて徐々に増加し、タスクがより難しくなる。したがって、プレイヤーが各レベルで成功するためには、作業記憶から情報を連続的に選択し、操作する必要があるのだ。寿司リコールの目的は、基本的にはプレイヤーが一時的に情報の断片を保持し、さまざまな日常のタスクを実行するために重要な情報を

保持する能力を鍛えることだ。この情報を保持する能力により、新しい電話番号をダイヤルする、本や携帯電話などのアイテムをどこに置いたかを思い出すなど、日常の理論的な判断と意思決定が向上する。



# ドットコネクト

Dot Connectは、精神的な回転課題からインスパイアを受けたゲームである[86]。このゲームでは、プレイヤーは与えられた2Dの線分を識別し、その後、ゲームからの指示に従って別の線分を複製し、反転し、回転させることで、空間的な能力を活性化させる必要がある。認知の衰退に関しては、短期記憶喪失と比較してあまり話題にされていないかもしれないが、空間能力は私たちの一般的な知能の重要なスキルの一部である[87]。これらの認知スキ

ルは、地図の読み取り、運転[88]、数学のパフォーマンス[89]など、さまざまな日常のタスクで普及している。Dot Connectの初級レベルでは、プレイヤーはボードを90度および180度、時計回りまたは反時計回りに精神的に回転させる必要がある。初期段階では、ルールに慣れるためにカラーガイドが提供されるが、プレイヤーが進行するにつれて削除され、上達するとより取り扱いが上手になる。さらに、Senzebandからのセンサーにより、プレイ

ヤーの視覚的空間的注意力と焦点[90]を評価し、全体の進歩を追跡するための正確な測定が提供される。



## マインドコプター

Mind Copterは、EEGバイオマーカーと注意トレーニングの関連性を示す研究を活用している[72, 73]。Senzebandはプレイヤーの注意レベルのリアルタイム測定し、ゲームのスコアに追加の次元を提供するだけでなく、選択的および分割された注意能力を向上させるための適応型トレーニングプログラムをカスタマイズする。これらの認知スキルは、不要な情報を排除し、最終的に重要なことに焦点を当てるために、注意を管理するために重要で

あり[91]、タスクやイベント中の長時間の集中力を助けるのにも役立つ。プレイヤーはパイロットの役割を果たし、ヘリコプターを飛ばし、孤立した生存者の救助任務を実行する。プレイヤーは、生存者にケアパッケージを届けるために注意を集中させ、ヘリコプターを降下させて救助するために注意を自発的に解放する必要がある。ゲームが進行するにつれて、ヘリコプターは「重く」なり、より多くの障害物が導入されて操作が難しくなる。



# ピラミッドソリティア

ピラミッドソリティアは、古典的なソリティアゲームの改変バージョンであり、ゲームプレイが短期記憶などの認知機能を向上させることが実証されている[78]。神経可塑性の概念を活用して、プレイヤーがカードの価値を思い出すために作業記憶を頻繁に活性化させると、脳は新しいニューラルパスウェイを生成または強化するため、アルツハイマー病 (AD) の場合でも有効な可能性がある[82]。このゲームでは、プレイヤーは13の価値を持つ2枚の

カードを組み合わせる必要がある。プレイヤーは、手元のカードとピラミッドにあるカードに応じて、どの戦略や経路を最初に選択するかを決定しなければならずその際に判断力を活性化される。適切な戦略を使用すれば、カードを組み合わせがないティアを開ける状況に偶然遭遇することはない。未使用のカードをすぐに廃棄する古典的なピラミッドソリティアとは異なり、ピラミッドソリティアではプレイヤーがカードを後で使用するためにストッ

クすることができる。ただし、カードは裏返されているため、しまったカードの価値を覚えておく必要がある。これは記憶作業を必要とし、誤った推測はスコアのペナルティに繋がる。



## マルチタスクマスター

Multitask Masterは、タスク切り替えのパラダイム[92]や、効果的な問題解決と創造性などの複雑なタスクを追求するのに役立つ認知的柔軟性を構築するというアイデアに基づいて作成された[93]。このゲームは、2つの画面に分かれており、両側で完了するタスクがある。タスクが画面ごとに完了するとポイントが付与される。つまり、プレイヤーは画面1を完了し、次に画面2に進み、また画面1に戻らなければならない。完了するタスクは性質

が異なるため、プレイヤーはさまざまな認知機能を迅速かつ効率的に使用するように奨励される。たとえば、画面1では計算力が必要な数学の計算問題が表示され、画面2ではプレイヤーが図形間のパターンを識別し分析する必要があるパターン認識の問題が表示される場合もある。プレイヤーが進むにつれて、各画面で問題を解決するために与えられる時間が減少する。

# 結論

私たちは急速な情報の増加と注意不足の時代を経験しており、予想よりも早く認知の衰えを経験している長寿の世界にいるのだ。これらは、一生を通じて認知フィットネスを維持するために私たちに大きな挑戦を投げかける要因なのだ。認知の健康を向上させ、認知の衰退を防ぐためには、健康的な生活様式に加えて豊富な精神的な運動に従事することが重要だ。脳トレーニングの効果は、数十年にわたる科学研究によって支持されている。モバイルアプリケーションとコンピュータゲームが今日の世界でますます避けられなくなる中、健康、技術、ゲームの融合も同様に避けられない。モバイルゲームと軽量のEEGセンサーを組み合わせることで、日常生活でクローズグループの認知トレーニングを促進することが可能になり、誰でもいつでもどこでも適応型で便利かつ効果的な脳トレーニングプログラムを提供することが可能になる。

# Neeuroについて

+65 6397 5153

contact@neuro.com

www.neuro.com

Neeuroは、脳-コンピュータインターフェース技術を活用して、ユーザーの神経適応性とフィットネスの潜在能力を最大限に引き出すことに特化したグローバル企業である。2013年の設立以来、Neeuroは幅広いデジタル治療および脳のフィットネスソリューションのポートフォリオを持ち、その成果はシンガポールの研究活動の最前線機関、A\*STARによって臨床的に検証された研究により証明されている。Neeuroの中核技術であるNeeuroOSは、ユーザーの脳の信号を分析し、注意、リラックス、精神的な負荷、疲労などの精神状態を測定する人工知能（AI）駆動のプラットフォームである。Neeuroの包括的な提供は、ADHDを持つ子供、脳卒中患者、認知リハビリテーション、およびその他多くの神経学的な課題に対する補完的なメンタルヘルスの選択肢を探求する数多くの可能性を秘めている。

# 参考文献

## 加齢に伴う認知機能低下の直線的傾向

1. Tucker-Drob EM & Salthouse TA. Adult age trends in the relations among cognitive abilities. *Psychol. Aging* 23, 453–460 (2008)
2. Anguera JA, Boccanfuso J, Rintoul JL et al. Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*. 2013 Sep 5; 501(7465):97-101.

## 流動的な知能のための認知トレーニング

3. Jaeggi SM, Buschkuhl M, Jonides J & Perrig WJ. Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proc Natl Acad Sci USA*. 105, 6829–6833 (2008).
4. Zhao X, Wang YX, et al., Effect of updating training on fluid intelligence in children. *Chin Sci Bull*. 2011 Jul; 56 (21): 2202–5.
5. Bergman NS, Soderqvist S, et al., Gains in fluid intelligence after training non-verbal reasoning in 4-year-old children: A controlled, randomized study. *Dev Sci*. 2011 May; 14 (3): 591–601.
6. Rudebeck SR, Bor D, et al., A potential spatial working memory training task to improve both episodic memory and fluid intelligence. *PLoS One*. 2012; 7 (11): e50431.

## 結晶性知能のための認知トレーニング

7. Alloway TP, Alloway RG, The efficacy of working memory training in improving crystallized intelligence. *Nature Proceedings*. 2009 Sep.

## 認知トレーニングは持続可能である

8. Bennett SJ, Holmes J, et al., Computerized memory training leads to sustained improvement in visuospatial short-term memory skills in children with Down syndrome. *Am J Intel Dev Disab*. 2013; 118 (3): 179–92.
9. Brehmer Y, Westerberg H, et al., Working-memory training in younger and older adults: Training gains, transfer, and maintenance. *Front Hum Neurosci*. 2012 Mar; 6: 63.
10. Wolf D, Fischer FU, et al., Structural integrity of the corpus callosum predicts long-term transfer of fluid intelligence-related training gains in normal aging. *Hum Brain Mapp*. 2012 Sep 11.

## 認知トレーニングは日常業務に転用できる

11. Chein JM, Morrison AB, Expanding the mind's workspace: Training and transfer effects with a complex working memory span task. *Psychon Bull Rev*. 2010 Apr; 17 (2): 193–99.
12. Heinzl S, Schulte S, et al., Working memory training improvements and gains in non-trained cognitive tasks in young and older adults. *Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn*. 2013 May 2
13. Holmes J, Gathercole SE, et al., Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Dev Sci*. 2009 Jul; 12 (4): F9–15.
14. Kundu B, Sutterer DW, et al., Strengthened effective connectivity underlies transfer of working memory training to tests of short-term memory and attention. *J Neurosci*. 15 May 2013; 33 (20): 8705–15.
15. Salminen T, Strobach T, et al., On the impacts of working memory training on executive functioning. *Front Hum Neurosci*. 2012; 6: 166.
16. Loosli SV, Buschkuhl M, et al., Working memory training improves reading processes in typically developing children. *Child Neuropsychol*. 2012; 18 (1): 62–78.
17. Schweizer S, Hampshire A, et al., Extending brain-training to the affective domain: Increasing cognitive and affective executive control through emotional working memory training. *PLoS One*. 2011; 6 (9): e24372.
18. Von Bastian CC, Oberauer K, Distinct transfer effects of training different facets of working memory capacity. *J Mem Lang*. 2013 Jul; 69 (1): 36–58.
19. Lilienthal L, Tamez E, et al., Dual n-back training increases the capacity of the focus of attention. *Psychon Bull Rev*. 2013 Feb; 20 (1): 135–41.
20. Minear M, Shah P, Training and transfer effects in task switching. *Mem Cognit*. 2008 Dec; 36 (8): 1470–83.
21. Schmiedek F, Lövdén M, et al., Hundred days of cognitive training enhance broad cognitive abilities in adulthood: Findings from the COGITO study. *Front Aging Neurosci*. 2010 Jul 13; 2.
22. Thorell LB, Lindqvist S, et al., Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Dev Sci*. 2009 Jan; 12 (1): 106–13.
23. Rueda MR, Checa P, et al., Enhanced efficiency of the executive attention network after training in preschool children: Immediate and effects after two months. *Dev Cogn Neurosci*. 2012 Feb 15; 2 Suppl 1: S192–204.
24. Jaeggi SM, Studer-Luethi B, et al., The relationship between n-back performance and matrix reasoning—implications for training and transfer. *Intelligence*. 2010; 38: 625–35.
25. Jaeggi SM, Buschkuhl M, et al., Short- and long-term benefits of cognitive training. *PNAS*. 2011 Jun 21; 108 (25): 10081–86.
26. Jausovec N, Jausovec K, Working memory training: Improving intelligence—changing brain activity. *Brain Cogn*. 2012; 79: 96–106.

# 参考文献

## 認知評価

27. Randolph C, Tierney MC, Mohr E, Chase TN. The Repeatable Battery for the Assessment of Neuro-psychological Status (RBANS): preliminary clinical validity. *J Clin Exp Neuropsychol*. 1998 20(3): 310–9.
28. Barbara Bradley Hagerty, Forget About It: Your Middle-Aged Brain Is Not On the Decline. NPR, Mar 15, 2016.

## 大規模メタ研究

29. John W Williams, Brenda L Plassman, James Burke, Tracey Holsinger and Sophiya Benjamin. Preventing Alzheimer's Disease and Cognitive Decline. Evidence Reports: AHRQ publication (2010).

## MRIで確認された脳の変化 - 神経可塑性

30. Olesen PJ, Westerberg H, Klingberg T. Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nat Neurosci*. 2004 Jan; 7 (1): 75–79.
31. Schweizer S, Grahm J, et al., Training the emotional brain: Improving affective control through emotional working memory training. *J Neurosci*. 2013 Mar 20; 33 (12): 5301–11.
32. Vartaniana O, Jobidona ME, Working memory training is associated with lower prefrontal cortex activation in a divergent thinking task. *Neuroscience*. 2013 Apr 16; 236: 186–94.

## 子供のための認知トレーニング

33. Mackey AP, Hill SS, et al., Differential effects of reasoning and speed training in children. *Dev Sci*. 2011 May; 14 (3): 582–90.
34. Buschkuhl M, Jaeggi SM, et al., Impact of working memory training on memory performance in old-old adults. *Psychol Aging*. 2008 Dec; 23 (4): 745–53.
35. Li SC, Schmiedek F, et al., Working memory plasticity in old age: Practice gain, transfer, and maintenance. *Psychol Aging*. 2008 Dec; 23 (4): 731–42.
36. Wolinsky FD, Vander Weg MW, et al., A randomized controlled trial of cognitive training using a visual speed of processing intervention in middle aged and older adults. *PLoS One*. 2013 May 1; 8 (5): e61624.
37. Zinke K, Zeintl M, Working memory training and transfer in older adults: Effects of age, baseline performance, and training gains. *Dev Psychol*. 2013 May 20 .
38. Liu-Ambrose T, Nagamatsu LS, et al., Resistance training and executive functions: A 12-month randomized controlled trial. *Arch Intern Med*. 2010; 170 (2): 170–78.
39. von Bastian CC, Langer N, et al., Effects of working memory training in young and old adults. *Mem Cognit*. 2013 May; 41 (4): 611–24.
40. Richmond LL, Morrison AB, et al., Working memory training and transfer in older adults. *Psychol Aging*. 2011 Dec; 26 (4): 813–22.
41. Basak C, Boot WR, et al., Can training in real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults? *Psychol Aging*. 2008; 23 (4): 765–77.
42. Carretti B, Borella E, et al., Gains in language comprehension relating to working memory training in healthy older adults. *Int J Geriatr Psychiatry*. 2013 May; 28 (5): 539–46.
43. Borella E, Carretti B, et al., Working memory training in older adults: Evidence of transfer and maintenance effects. *Psychol Aging*. 2010; 25 (4): 767–778.
44. Ball K, Berch DB, et al. Effects of cognitive training interventions with older adults: A randomized controlled trial. *JAMA*. 2002 Nov 13; 288 (18): 2271–81.

## 認知セラピー

45. Boron JB, Willis SL, et al., Cognitive training gains as a predictor of mental status. *J Gerontol*. 2007 Jan; 62B (1): P45–51.
46. Bell M, Bryson G, et al., Cognitive remediation of working memory deficits: Durability of training effects in severely impaired and less severely impaired schizophrenia. *Acta Psychiatr Scand*. 2003; 108: 101–9.
47. Dahlin KIE, Effects of working memory training on reading in children with special needs. *Reading and Writing*. 2011; 24: 479–91.
48. Gray SA, Chaban P, et al., Effects of a computerized working memory training programme on working memory, attention, and academics in adolescents with severe LD and comorbid ADHD: A randomized controlled trial. *J Child Psychol Psychiatry*. 2012 Dec; 53 (12): 1277–84.
49. Green CT, Long DL, et al., Will working memory training generalize to improve off-task behavior in children with attention-deficit/hyperactivity disorder? *Neurotherapeutics*. 2012 Jul; 9 (3): 639–48.
50. Hardy KK, Willard VW, et al., Working memory training in survivors of pediatric cancer: A randomized pilot study. *Psycho-Oncology*. 2012 Dec 2

# 参考文献

51. Holmes J, Gathercole SE, et al., Working memory deficits can be overcome: Impacts of training and medication on working memory in children with ADHD. *Appl Cognit Psychol*. 2010 Sep; 24 (6): 827–36.
52. Houben K, Wiers RW, et al., Getting a grip on drinking behavior: Training working memory to reduce alcohol abuse. *Psychol Sci*. 2011 Jul; 22 (7): 968–75.
53. Kesler S, Hadi Hosseini SM, et al., Cognitive training for improving executive function in chemotherapy-treated breast cancer survivors. *Clin Breast Cancer*. 2013 Aug; 13 (4): 299–306.
54. Klingberg T, Fernell E, et al., Computerized training of working memory in children with ADHD—a randomized, controlled trial. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*. 2005; 44 (2): 177–86.
55. Kray J, Karbach J, Can task-switching training enhance executive control functioning in children with attention deficit/hyperactivity disorder? *Front Hum Neurosci*. 2011; 5: 180.
56. McGurk SR, Mueser KT, et al., Cognitive training and supported employment for persons with severe mental illness: One-year results from a randomized controlled trial. *Schiz Bull*. 2005; 31 (4): 898–909.
57. Nagamatsu LS, Handy TC, et al., Resistance training promotes cognitive and functional brain plasticity in seniors with probable mild cognitive impairment. *Arch Intern Med*. 2012 Apr 23; 172 (8): 666–68.
58. Owens M, Koster EH, et al., Improving attention control in dysphoria through cognitive training: Transfer effects on working memory capacity and filtering efficiency. *Psychophysiology*. 2013 Mar; 50 (3): 297–307.
59. Prins PJ, Dosis S, et al., Does computerized working memory training with game elements enhance motivation and training efficacy in children with ADHD? *Cyberpsychol Behav Soc Netw*. 2011 Mar; 14 (3): 115–22.
60. Soderqvist S, Nutley SB, et al., Computerized training of non-verbal reasoning and working memory in children with intellectual disability. *Front Hum Neurosci*. 2012; 6: 271.
61. Subramaniam K, Luks TL, et al., Computerized cognitive training restores neural activity within the reality monitoring network in schizophrenia. *Neuron*. 2012 Feb 23; 73: 842–53.
62. Van der Molen MJ, Van Luit JE, et al., Effectiveness of a computerised working memory training in adolescents with mild to borderline intellectual disabilities. *J Intellect Disabil Res*. 2010 May; 54 (5): 433–47.
63. Roughan L, Hadwin JA, The impact of working memory training in young people with social, emotional and behavioral difficulties. *Learning and Individual Differences*. 2011 Dec; 21 (6): 759–64.
64. Neville HJ, Stevens C, et al., Family-based training programme improves brain function, cognition, and behavior in lower socioeconomic status preschoolers. *PNAS*. 2013 Jul 1, 110(29), p12138–12143

## 年齢別トレーニング

65. Karbach J, Kray J, How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Dev Sci*. 2009 Nov; 12 (6): 978–90.

## トレーニングゲーム

66. Sunghee H. Tak, Cornelia Beck, and Song Hee Hong. Feasibility of providing computer activities for nursing home residents with dementia. *Nonpharmacol Ther Dement*. 2013; 3(1): 1–10.
67. Anne Corbett et al. The Effect of an Online Cognitive Training Package in Healthy Older Adults: An Online Randomized Controlled Trial. *JAMDA* 16 (2015) 990e997
68. Workshop on Interactive Media, Attention and Well-Being. <http://go.nature.com/t9mvqc>
69. Daphne Bavelier & Richard J. Davidson. Brain training: Games to do you good. *Nature* 494, 425–426 (28 February 2013)

## 脳波に基づくトレーニング

70. Kahana, M.J., Sekuler, R., Caplan, J.B., Kirschen, M., Madsen, J.R., 1999. Human theta oscillations exhibit task dependence during virtual maze navigation. *Nature* 399, 781–784.
71. Klimesch, W., Doppelmayr, M., Stadler, W., Pollhuber, D., Sauseng, P., Rohm, D., 2001. Episodic retrieval is reflected by a process specific increase in human electroencephalographic theta activity. *Neurosci. Lett.* 302, 49–52
72. Egner, T., Gruzelier, J.H., 2001. Learned self-regulation of EEG frequency components affects attention and event-related brain potentials in humans. *Neuroreport* 12, 4155–4159.
73. Rossiter, T.R., LaVaque, T.J., 1995. A comparison of EEG biofeedback and psychostimulants in treating attention deficit hyperactivity disorders. *J. Neurother.* 48–59
74. Baldwin, C. L., and Penaranda, B. N. (2012). Adaptive training using an artificial neural network and EEG metrics for within- and cross-task workload classification. *Neuroimage* 59, 48–56.
75. Thomas KP, Vinod AP, Guan C. Enhancement of attention and cognitive skills using EEG based neurofeedback game. *Neural Engineering (NER), 2013 6th International IEEE/EMBS Conference on*. P 21 – 24
76. Vernon D, Egner T, Cooper N, Compton T, Neilands C, Sheri A, Gruzelier J. The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *Int J Psychophysiol*. 2003 Jan;47(1):75-85.

# 参考文献

77. Hanslmayr, S., Sauseng, P., Doppelmayr, M., Schabus, M., Klimesch, W., 2005. Increasing individual upper alpha power by neurofeedback improves cognitive performance in human subjects. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback* 30, 1–10.

## 認知 (その他)

78. Shinya Uchida & Ryuta Kawashima. Reading and solving arithmetic problems improves cognitive functions of normal aged people: a randomized controlled study. *AGE* (2008) 30:21–29

79. Gerd Kempermann, Daniela Gast and Fred H. Gage. Neuroplasticity in old age: Sustained fivefold induction of hippocampal neurogenesis by long-term environmental enrichment. *Annals of Neurology*, Vol 52, Issue 2, pages 135–143, August 2002

80. Buitenweg J, Murre JM, Ridderinkhof KR. Brain training in progress: a review of trainability in healthy seniors. *Front Hum Neurosci*. 2012 Jun 21;6:183.

81. Nelson Cowan, The Magical Mystery Four: How is Working Memory Capacity Limited, and Why? *Curr Dir Psychol Sci*. 2010 Feb 1; 19(1): 51–57.

82. Sergio Machado, Marlo Cunha et al. ALZHEIMER'S DISEASE AND IMPLICIT MEMORY. *Arq Neuropsiquiatr* 2009;67(2-A):334-342 334

83. Rui Nouchi et al. Brain Training Game Improves Executive Functions and Processing Speed in the Elderly: A Randomized Controlled Trial. *PlosOne*, Volume 7, Issue 1, e29676.

84. RuGazzaniga, Michael S.; Ivry, Richard B.; Mangun, George R. (2009). *Cognitive Neuroscience: The Biology of the Mind* (2nd ed.).

85. Francisco J. Román, Lindsay B. Lewis et. al. Gray matter responsiveness to adaptive working memory training: a surface-based morphometry study. *Brain Structure and Function*, pp 1-14, 2015

86. Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978, December). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial ...Retrieved November 1, 2022, from <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.2466/pms.1978.47.2.599>

87. Howard Gardner, *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*, 1983.

88. Moen, K.C. et al. (2020) Strengthening spatial reasoning: Elucidating the attentional and neural mechanisms associated with mental rotation skill development - cognitive research: Principles and implications, SpringerOpen. Springer International Publishing. Available at: <https://cognitiveresearchjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s41235-020-00211-y> (Accessed: November 2, 2022).

89. Mix K. S., Levine S. C., Cheng Y. L., Young C., Hambrick D. Z., Ping R., Konstantopoulos S. (2016). Separate but correlated: The latent structure of space and mathematics across development. *Journal of Experimental Psychology: General*, 145(9), 1206–1227. <https://doi.org/10.1037/xge0000182>

90. *The Oxford Handbook of Attention*, Edited by Anna C. Nobre and Sabine Kastner, 2014.

91. Stevens, C. and Bavelier, D. (2012) The role of selective attention on academic foundations: A cognitive neuroscience perspective, *Developmental cognitive neuroscience*. Elsevier. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3375497/> (Accessed: November 2, 2022)

92. Rogers, R. and Monsell, S. (no date) Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks - researchgate, Research Gate. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/232496441\\_Costs\\_of\\_a\\_Predictable\\_Switch\\_Between\\_Simple\\_Cognitive\\_Tasks](https://www.researchgate.net/publication/232496441_Costs_of_a_Predictable_Switch_Between_Simple_Cognitive_Tasks) (Accessed: November 2, 2022).

93. Ionescu, T. (2011) Exploring the nature of cognitive flexibility, *New Ideas in Psychology*. Pergamon. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0732118X11000705> (Accessed: November 2, 2022).

94. Gonzales, M. et al. (2022) "Biological aging processes underlying cognitive decline and neurodegenerative disease," *Journal of Clinical Investigation*, 132(10). Available at: <https://doi.org/10.1172/jci158453>.

95. Peters, R. (2006) Ageing and the brain, *Postgraduate medical journal*. BMJ Group. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2596698/> (Accessed: November 7, 2022).

96. Petralia - Petralia, R.S., Mattson, M.P. and Yao, P.J. (2014) Communication breakdown: The impact of ageing on Synapse Structure, *Ageing research reviews*. U.S. National Library of Medicine. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4094371/> (Accessed: November 7, 2022).

97. Juttukonda - Characterizing cerebral hemodynamics across the adult lifespan with arterial spin labeling MRI data from the Human Connectome Project-Aging

Juttukonda, M. R., Li, B., Almaktoom, R., Stephens, K. A., Yochim, K. M., Yacoub, E., Buckner, R. L., & Salat, D. H. (2021). *NeuroImage*, 230, 117807. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.117807>

98. Risk reduction of cognitive decline and dementia: Who guidelines (2019) World Health Organization. World Health Organization. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/312180> (Accessed: November 7, 2022).