

リズム風提示による 接触を要さない呼吸ペース誘導手法の予備的検討

金 杜^{1,a)} 細井 十楽¹ 伴 祐樹¹ キョウ 青宇¹ 菊池 雄行² 中川 京佑² 村上 千鶴² 今井 洋輔²
割澤 伸一¹

概要：本研究では、現代社会におけるストレス軽減とリラクゼーションの向上の必要性を背景に、非接触の触覚刺激としてリズム風を用いた呼吸誘導の効果を探求した。実験では、リズム風を提示し、これによる参加者の呼吸ペースとリラクゼーションの状態に及ぼす影響を測定した。結果として、目標とされた呼吸ペースへの誘導は困難であり、参加者のリラクゼーション状態にも顕著な変化は見られなかった。この結果は、非接触呼吸誘導手法の限界と可能性を示し、今後の研究の方向性を示唆するものである。

1. 緒言

現代社会はストレス社会とされ、リラクセスや休憩の質を向上させることには大きな社会的な要求がある。そして、呼吸はリラクセスや休憩の質に密接に関わっていることが知られており、一般に、呼吸ペースは遅く、呼吸の深さは深ければ、休憩の質が高くなることが知られている [1]。

そのため、Human Computer Interaction (HCI) 分野では、休憩の質が高くなる呼吸運動、特にゆったりとしたペースへと体験者の呼吸を誘導する研究が様々に行われている。呼吸誘導に関する先行研究において主に用いられているアプローチは、映像や音声、振動などの五感刺激を用いて、呼気と吸気の適切なタイミングを提示し、それらに合わせて呼吸させることで呼吸ペースを誘導するものである [2], [3], [4]。五感刺激の中でも、特に、触覚刺激を用いた呼吸誘導手法では、振動や圧力を提示できる触覚刺激デバイスを接触・装着させ、刺激位置や刺激強度を変化させることで適切な呼吸ペースを提示している [5], [6], [7]。そのため、他の映像音声等の視聴への干渉が小さく、日常生活における業務や休憩シーンに導入しやすいという利点が存在する。また、呼吸運動を模したクッション型デバイスを介した触覚刺激によって、引き込み現象を用いて事前の教示や訓練を必要としない呼吸誘導手法も提案されている [8], [9]。

しかしながら、デバイスとの接触を介した触覚刺激による既存の呼吸誘導手法には、以下の二つの課題がある。一

つ目の課題について、上に挙げた手法では、触覚刺激を提示するデバイスを装着させる必要があり、行動や姿勢に対する制約が大きい。二つ目の課題について、誘導効果の向上や広範化を達成するために全身や大人数に対して触覚刺激を提示する際、触覚刺激デバイスを大量に用意し、装着・運用する必要があり、システムの設備・制御面でのコストが大きくなりやすい。

本研究では、呼吸運動のペースを非接触に提示できる触覚刺激として、気流に着目した。呼吸のタイミングは気流によって変化することが示唆されている [10], [11] 上、気流は風速を制御することによって、対象者が知覚できる触覚刺激の強度変化を提示することが可能である。また、気流提示は装着等を要さず、広範囲に対する刺激提示が容易できるため、複数人への適用コストが小さく、体験者の位置や姿勢に対する制約も小さい。さらに、空調設備は一般に広く普及しているため、気流提示手法は将来的な設備導入コストが比較的小さくなりやすい。そこで、本研究では、非接触な触覚刺激としてリズムのある風 (リズム風) を提示することによって、最適な呼吸リズムを意識させ、デバイス装着や訓練を必要とせずに意図した呼吸ペースへと体験者を誘導することを提案する。

気流による非接触での呼吸誘導を実現するため、気流の風速を変化させることで、適切な呼吸のペースを提示するシステムを構築した。そのシステムを用いて、リズム風を提示することで教示や訓練の無い状態で呼吸誘導が可能かを調べるため、実験参加者を募り、休憩中にリズム風を提示する実験を行った。

¹ 東京大学

² ダイキン工業株式会社

a) jin.du@s.h.k.u-tokyo.ac.jp

2. 手法

2.1 アプローチ

休憩時の呼吸誘導について、本研究では、特に、タスク間での5-10分程度の短時間の休憩における呼吸誘導を対象とすることとする。タスク間での短い休憩は労働等において日常的に頻繁に発生し、その質の改善は生産性の向上につながるため社会的な需要が大きい。呼吸誘導の先行研究においても、同様に、タスク間での短い休憩をターゲットとしたものが多く存在する。

触覚刺激による呼吸リズムの誘導手法は、休憩中の映像視聴と干渉が起きづらいため、様々な手法が提案されている。触覚刺激を用いたアプローチの多くは、知覚される触覚刺激の位置や強度を操作することで、目標とする呼吸リズムを提示している。そのため、呼吸誘導の用いる触覚刺激は、目標とする10bpm付近のペースを強度や位置の操作によって、提示可能なことが求められる[12]。さらに、短い休憩シーンにおける呼吸誘導では、事前の導入や事後の移行が簡便かつ、短時間で誘導できるよう効果が高い手法であることが必要である。加えて、休憩シーンに行う行為は個人によって大きく異なるため、行動の自由度が高いことが望ましい。一方で、既存の触覚的呼吸誘導手法は、1で述べたように、専用デバイスの装着を要するため、行動・姿勢の制約や設備的なコストが大きくなってしまいう課題が存在する。

そこで、本研究では、呼吸誘導に用いる触覚刺激として非接触で提示できる気流を用いることを提案する。気流は開放感をもたらす刺激としてリラックスを目的とした多数の先行研究で用いられている上、送風によって吸気のタイミングを変化させられることが示唆されている。また、ファンの風速を制御することで約10bpmである呼吸のペースを十分に提示可能であり、気流は空調設備などの設置型のファンによって広範囲の場に対する提示が容易であるため、休憩前後の移行のコストが低く、休憩時の位置や姿勢についての制約も小さいため、短時間での休憩シーンに適している。

本研究では、風による呼吸誘導としてまず、呼吸誘導に関する教示の無い下で、提示する風のリズムによって呼吸ペースを変動させることを考えた。

2.2 システム

2.2.1 実験環境

提案手法の効果を検証する実験のため、休憩時の体験者の顔に対してリズム風を提示できるシステムを構築した(図1)。

本システムは、主に風提示用のファン、Arduino Uno R3、制御用PCで構成されている。ファンは、0.172mの

サイズで、制御用PCから目標風速を送信され、Arduinoの出力信号によって稼働する。これらに加え、実験上の休憩時の行動の統制として、体験者が座るための椅子、体験者がファンの動作を視認せずに映像音声視聴するための眼鏡型デバイス(Nreal Air)とノイズキャンセリングイヤホン(Bose QuietComfort Earbuds II)を用意した。椅子はファンから65cmの距離に正対する向きで配置され、映像音声用のデバイスは、体験者から極力風を遮らないよう眼鏡型デバイスとイヤホンを選定した。また、実験中の計測のため、生体指標計測のための測定器(PLUX, biosignal Explorer)を用意した。biosignal ExplorerにはECGセンサーと呼吸計測用バンドが接続され、実験参加者にこれらを装着して、生体指標を計測した。生体情報計測のサンプリングレートは1000Hzであった。

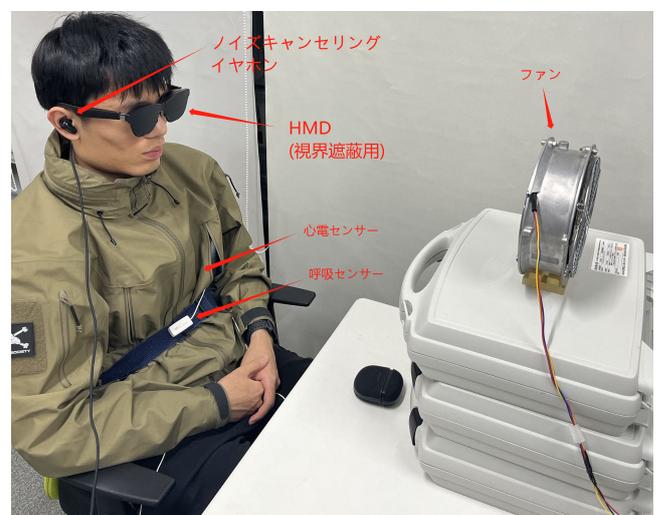


図1 実験環境

2.2.2 風速の制御評価

システムが意図した風速を提示可能であることを確認するため、体験者の頭部の位置に超音波式風速計を設置し、超音波式風速計を用いて風速を測った結果が図2である。条件は、“無風条件”、“定常風条件”、“7.5 bpm リズム風”、“10 bpm リズム風”であり、それぞれ黒色、緑色、青色、赤色の実線で表される。二種類のリズム風を用意したのは、提示した風のリズムと呼吸誘導効果の関係を検証するためである。図2を元に、本システムを使用して想定される風パターンを提示するのは可能であることが示された。

2.3 実験デザイン

2.2のシステムを用いて、被験者実験を計画した。実験目的は、呼吸誘導に関する教示のない下で、リズム風を提示することによって呼吸ペースが誘導されるかの検証である。本実験は倫理審査委員会の下、承認されている(23-406)。

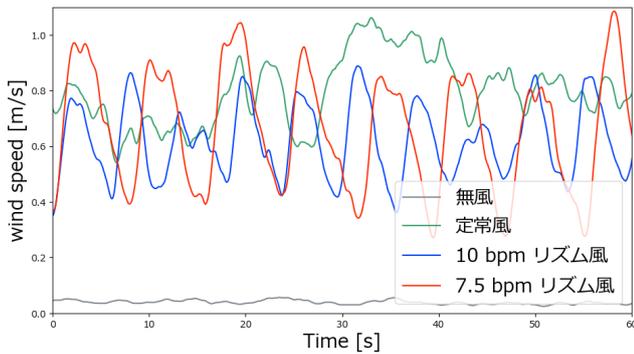


図 2 風速が無風・定常・リズム風 (10 bpm, 7.5 bpm) となるよう制御した際の風速測定の結果

2.3.1 実験手順

本実験の実験手順は大きく 3 つのフェーズに分けられ、実験参加者は順に全てのフェーズを行った。実験時間は 1 人につき約 90 分程度であった。

フェーズ 1 は、実験の本試行前の前準備を行うフェーズである。実験参加者はまず 25°C に室温が統制された実験室に入室後、実験説明を受けた。本実験の目的に教示や訓練などの事前の知識が無い状態で呼吸誘導が行えるかを検証することがあるため、実験説明では、呼吸を誘導するという目的を伏せ、実験目的を「風を用いて呼吸を整えリラックスさせること」と伝えるディセプションを行った。

フェーズ 2 は、実験の各条件ごとの本試行を行うフェーズである。実験参加者は、ファンから 65 cm の距離に正対する椅子に座り、実験条件ごとに 1 回ずつ以下の試行を繰り返し行った。実験条件は 2.3.2 に後述する 4 条件であり、実験参加者は計 4 回の試行を行った。

1 試行の具体的な手順を以下に示す (図 3)。まず、実験参加者は、休憩前の状態の統制のため、認知タスクである 2-back タスクを 2 分間行った。2-back タスクは、3 秒間ごとにモニタ上に 1 桁の数字が表示され、実験参加者は 2 個前に表示された数字と現在表示されている数字が同一である場合キーを押す認知タスクである。2-back タスクを行った後、安静タスクとして、映像提示用のアイグラスデバイスとノイズキャンセリングワイヤレスイヤホンを装着し、実験条件に応じた風を浴びながら、「風によって呼吸を整えてリラックスしてください」という教示を受け、風景のパノラマ写真が回転する映像とホワイトノイズの音声を 7 分間視聴した。映像と写真を提示したのは、風の触覚刺激単体の呼吸誘導効果を見るためにファンの動きや音を知覚されないようにするためである。動画でなく静止写真を用いたのは、風を含む動画によって風速や風向といった風の知覚が変化すること知られており、それによって、提示した風が正しく知覚されないことを防ぐためである。安静タスクを行った後、体験者はアイグラスデバイスとノイズキャンセリングワイヤレスイヤホンを外し、安静タスク中についての

感情に関する主観アンケートである SAM(Self Assessment Manikin) [13] と RRS(Relaxation Rating Scale) に回答した。また、実験参加者が休憩タスク中に風を感じた場合、その風の印象に対するアンケート [14] を追加で回答した。休憩タスク中の呼吸ペースと心拍数は、7 分間の内、後半の 5 分間のデータから算出した。

フェーズ 3 は、本試行後のアンケートとデブリーフィングを行うフェーズである。全条件についての試行が終わった後、体験者は生体情報センサを外し、事後アンケートに回答した。その後、本研究の目的が呼吸誘導であることのデブリーフィングを行った。

2-back タスク 2 分間	安静タスク 7 分間	風印象アンケート	感情アンケート (SAM, RRS)
--------------------	---------------	----------	-----------------------

生体情報解析パート (後半 5 分)

図 3 4 条件のそれぞれで繰り返される 1 試行内の具体的な手順。

2.3.2 実験条件

実験条件として、無風条件、定常風条件、7.5 bpm リズム風条件、10 bpm リズム風条件の 4 つを用意した。参加者は、安静タスク中、この条件に基づく風を浴びた。無風条件は、ファンを稼働させず、風を提示しない条件である。定常風条件は、ファンの回転速度を一定に制御し、風速が約 0.9 m/s の定常である風を提示する条件である。7.5 bpm リズム風条件、10 bpm リズム風条件は、リズムがそれぞれ 7.5 bpm, 10 bpm の正弦波となるよう風速を制御した風を提示する条件である。

無風条件はベースとなる実験参加者の休憩時安静状態を示す。定常風条件は、風には快適度をあげる効果がみられることがある [14] ため、風自体による効果と、安静呼吸を誘導するペースに風を設計することによる効果を分離するため設けた。

実験条件の順序は、順序効果を考慮し、実験参加者間で Balanced Latin Square [15] を用いて振り分けた。

2.3.3 生体情報解析

計測した生体情報をもとに、呼吸計測用バンドから得られたデータをもとに 1 分あたりの呼吸数を算出し、リラックス度合いを評価するために、ECG データから副交感神経指標である Root Mean Square of Successive Differences (RMSSD) を算出した。

生体情報解析には、生体情報からの特徴量抽出に広く用いられている biosppy を利用した。まず前処理として、biosppy ライブラリの組み込み関数を用いて、ECG、呼吸データからノイズを除去した。ECG 解析には、通過帯域 3Hz、遮断帯域 45Hz の FIR バンドパスフィルタを用い、呼吸解析には、カットオフ周波数 5Hz のバターワースフィルタを用いた。

呼吸ペースは呼吸運動の波形を高速フーリエ変換し、得

られたスペクトルからピーク周波数を算出し、このピーク周波数の値を反転することで算出した。RMSSDは、連続する心拍間隔（RR 間隔）の差の平方根の平均値を計算することで算出され、副交感神経活動の影響を反映する。そのため、RMSSDの値が大きいほど副交感神経活動が高いと解釈される。

3. 結果

14名（男性9名、女性5名、平均年齢25.6歳）の参加者を募って実験を実施した。生体情報計測の結果、欠損のあった参加者2名のデータは解析から除外し、残り12名（男性8名、女性4名、平均年齢25.9歳）のデータについて解析・統計検定を行った。

本研究での統計解析における有意水準は5%とする。

図4に各条件ごとの休憩タスクの後半の5分間の呼吸ペースを示す。Shapiro-Wilk 検定によってデータが正規分布に従っていないことが確認できたためFriedman 検定を実施したところ、有意な主効果はみられなかった ($p = 0.96$)。

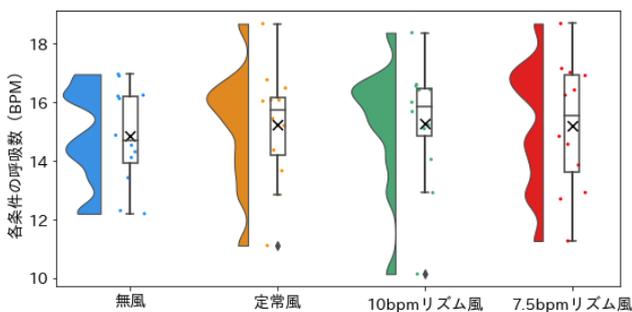


図4 各条件での安静タスクにおける後半5分の呼吸ペース

図5は各条件ごとの休憩タスクの後半の5分間のRMSSDを示し、この値が大きいほど副交感神経活動が高い、つまりリラックス度合いが高いと解釈できる。Shapiro-Wilk 検定によってデータが正規分布に従っていないことが確認できたためFriedman 検定を実施したところ、こちらについても提示風の条件による有意差はみられなかった ($p = 0.87$)。

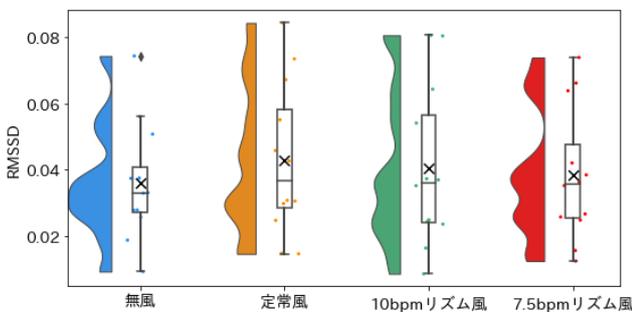


図5 各条件での安静タスクにおける後半5分のRMSSD

図6の箱ひげ図は各条件ごとの休憩タスク中のRRSの回答結果を示す。RRSの回答結果が大きいほど主観的な

リラックス度が大きいことを意味し、1が「全くリラックスしていなかった」、9が「非常にリラックスしていた」を表す。この結果について、Friedman 検定を実施し、有意差は確認できたため、無風条件と他の三条件について、各々wilcoxonの符号付き順位検定とボンフェローニ補正を行った結果、有意差は見られなかった(定常風の場合： $p = 1.0$ 、10 bpm リズム風の場合： $p = 0.14$ 、7.5 bpm リズム風の場合： $p = 0.1$)。

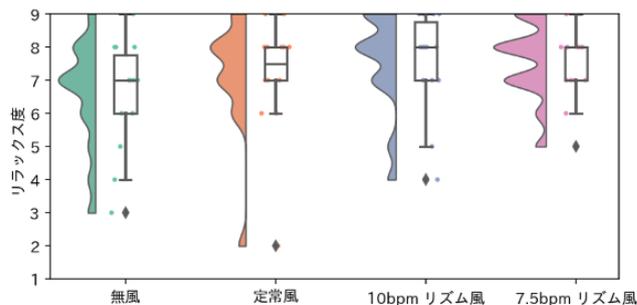


図6 各条件での安静タスクにおけるリラックス度を示すRRSアンケートの結果

4. 議論

呼吸誘導の結果は、呼吸に関する直接的な指示がない条件下で、参加者の呼吸が10 bpm または7.5 bpm リズム風によって誘導されなかったことを意味する。また、RMSSDとRRSの結果を見ると、リズム風に晒された際、参加者が自然にリラックスすることは確認されなかった。

これらの結果の原因として、リズムに合わせて呼吸をする際に必要な努力が著しく大きいため、弱い教示と刺激だけでは参加者の呼吸ペースを自然的に誘導するのが困難であったと推測される。今回の実験では、無風の状況下での参加者の平均呼吸ペースは15 bpm である一方で、目標とされた呼吸ペースは10 bpm と7.5 bpm に設定された。この大きな差異が、参加者が新しい呼吸リズムに適応する上での障壁となり、その障壁を克服するためには、本実験で提示した教示と刺激は不十分だと考えられる。

今後の研究においては、次の二つの方向を考慮する。

- 1) 参加者が適応しやすいように目標とする呼吸ペースを10 bpm より高く設定し、自然な呼吸リズムに近づけることと、
 - 2) 不快にならない範囲内における事前トレーニングやより明確な教示と刺激を提供し、参加者が目標とする呼吸リズムに容易に適応できるように支援することである。
- これらの修正方針は、技術の直接的な有用性を減少させる可能性があるが、公共の場所でのリラクゼーションの促進など、特定の文脈においては依然として大きな効果を発揮すると期待される。

5. 結論

本研究では、非接触な触覚刺激としてリズム風を用いた呼吸誘導の効果を調べた。実験参加者を募り、実験を行った結果、10 bpm と 7.5 bpm のリズム風では、直接的な指示が無い状態で呼吸ペースが誘導されないという結果が得られた。これは、本研究で提供された弱い指示と刺激は参加者の呼吸ペースを大幅に変化させることに対して不十分であったと考えられる。将来の研究では、より高い目標呼吸ペースの設定や、事前トレーニングなどの強化された指示と刺激の使用が検討されるべきである。

参考文献

- [1] Chacko N Joseph, Cesare Porta, Gaia Casucci, Nadia Casiraghi, Mara Maffei, Marco Rossi, and Luciano Bernardi. Slow breathing improves arterial baroreflex sensitivity and decreases blood pressure in essential hypertension. *hypertension*, Vol. 46, No. 4, pp. 714–718, 2005.
- [2] Rohini George, Theodore D. Chung, Sastry S. Vedam, Viswanathan Ramakrishnan, Radhe Mohan, Elisabeth Weiss, and Paul J. Keall. Audio-visual biofeedback for respiratory-gated radiotherapy: Impact of audio instruction and audio-visual biofeedback on respiratory-gated radiotherapy. *International Journal of Radiation Oncology*Biophysics*, Vol. 65, No. 3, pp. 924–933, 2006.
- [3] Takashi G. Sato, Mieko Ohsuga, Hidenori Boutani, and Takehiro Moriya. Tactile phantom sensation for coaching respiration timing. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 8, No. 1, pp. 119–125, 2015.
- [4] Junfeng Wang, Jingjing Lu, Zhiyu Xu, and Xi Wang. When lights can breathe: Investigating the influences of breathing lights on users' emotion. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 19, No. 20, 2022.
- [5] Kyung Yun Choi, Jinmo Lee, Neska ElHaouij, Rosalind Picard, and Hiroshi Ishii. Aspire: Clippable, mobile pneumatic-haptic device for breathing rate regulation via personalizable tactile feedback. In *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [6] Kyung Yun Choi, Neska ElHaouij, Jinmo Lee, Rosalind W Picard, and Hiroshi Ishii. Design and evaluation of a clippable and personalizable pneumatic-haptic feedback device for breathing guidance. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol. 6, No. 1, pp. 1–36, 2022.
- [7] Alice C Haynes, Annie Lywood, Emily M Crowe, Jessica L Fielding, Jonathan M Rossiter, and Christopher Kent. A calming hug: Design and validation of a tactile aid to ease anxiety. *Plos one*, Vol. 17, No. 3, p. e0259838, 2022.
- [8] Yuki Ban, Hiroyuki Karasawa, Rui Fukui, and Shin'ichi Warisawa. Relaxushion: Controlling the rhythm of breathing for relaxation by overwriting somatic sensation. In *SIGGRAPH Asia 2018 Emerging Technologies*, SA '18, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [9] Yuki Ban, Hiroyuki Karasawa, Rui Fukui, and Shin'ichi Warisawa. Development of a cushion-shaped device to induce respiratory rhythm and depth for enhanced relaxation and improved cognition. *Frontiers in Computer Science*, Vol. 4, , 2022.
- [10] 伴野明, 勝山一. 空気触覚を用いた吸気誘導による嗅覚提示法の検討. *電子情報通信学会論文誌 D*, Vol. 98, No. 1, pp. 214–224, 2015.
- [11] SHOHEI HORIGUCHI, SAYAKA MATSUMOTO, HIROSHI SHIGENO, and KEN'ICHI OKADA. Application of inhalation induction into switching scent. *情報処理学会研究報告 (Web)*, Vol. 2016, No. DCC-13, 2016.
- [12] Marc A. Russo, Danielle M. Santarelli, and Dean O'Rourke. The physiological effects of slow breathing in the healthy human. *Breathe*, Vol. 13, No. 4, pp. 298–309, 2017.
- [13] Margaret M. Bradley and Peter J. Lang. Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, Vol. 25, No. 1, pp. 49–59, 1994.
- [14] 八木由紀, 久保博子, 磯田憲生, 井上雄二, 清水真. 変動気流の前後風向持続時間が温熱的快適性に及ぼす影響. *空気調和・衛生工学会 論文集*, Vol. 29, No. 93, pp. 97–103, 2004.
- [15] James V. Bradley. Complete counterbalancing of immediate sequential effects in a latin square design. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 53, No. 282, pp. 525–528, 1958.