

音楽をベースとしたパターン感覚強化が
運動機能に与える影響：スコーピングレビュー
The Effects of Music-Based Patterned Sensory Enhancement
on Motor Function: A Scoping Review.

Caputo CC, Pranjić M, Koshimori Y, Thaut MH.
Brain Sci. 2025 Jun 20;15(7):664. doi: 10.3390/brainsci15070664.

はじめに

- Patterned Sensory Enhancement (PSE)はメトロノームのリズム合図で促進することも、他の音楽要素と重ね合せることも可能。
- PSEはリズム、メロディ、ハーモニー、ダイナミクス、音響など複数の音楽要素を用いて、時間的、空間的、力学的手がかりを提供し、必ずしも本質的にリズム的でない機能的な動きを促進する。
- 神経音楽療法士はテンポや拍子、リズムパターンを用いて動きの速度やタイミングをコントロールするのを助け、メロディの音高や方向の変化で動きの方向や範囲を導く。さらに、特定のダイナミクスを使うことで音量変化を通じて筋肉の力を増やし、不協和音から協和音へのハーモニーは緊張と解放を促進する。

- PSEは音を使ってある情報を伝える「ソニフィケーション」の原理に基づいている。
- 運動機能に関連して、望ましい動きのパターンは音のパラメータ(通常は音高、音量、リズム)にマッチングする。
- フィードバック相互作用に加え、PSEは聴覚・運動制御の感覚運動統合を用いて、特に正確なプライミングやタイミング情報を提供することで、望ましい運動出力を駆動することでフィードフォワード相互作用を引き出すことができる。

- RASの基盤となるメカニズムはPSEにも引き続き適用されるが、RASは生物学的にリズミカルな動き(歩行)に適用されるのに対し、PSEは本質的にリズミカルでない動きに適用される。
- リズムはPSEとRASの両方の重要な要素だが、上肢に対して純粹にリズム的な手がかりを用いる場合でも全身神経運動協調に取り組む限りPSEとみなす。
- 文献で使用されている用語様々な用語(RASなど)は不一致。

- ・このレビューの目的は、既存のPSE研究を統合すること。
- ・研究課題は、「PSEに関する既存の研究の範囲は、特に疾患別における有効性と応用の観点はどのようなものか?」
- ・将来の研究や臨床応用の基盤をさらに築く。

方法

適格基準論文は

- (1) 運動機能向上にPSEを用いる
- (2) PSE前後のアウトカムを報告している
- (3) 英語で発表されている
- (4) オリジナルリサーチに分類されたもの

文献間でのPSE用語の大きな違いと、上肢に対するRASという用語の一般的な誤用を考慮し、上肢に対する聴覚合図(リズミカル、メロディック、ソニフィケード)の効果を報告した論文も含めた。

レビュー論文、書籍の章、会議録、修士論文、また学習や訓練のための機械利用を含む論文は除外した。

既存の研究をすべて含むために、出版年は除外基準として明示しない。

結果

- 5つの電子データベース、引用検索、Google Scholarの検索から合計1018の論文を特定。
- 電子データベース検索で、重複544、タイトルと要旨を基に424除外。残り23のうち、2件は英文以外での発表、1件はPSEの有効性を報告せず、8件はレビュー論文または査読なしの論文。
- 引用検索とGoogle Scholarから特定された27論文を追加でスクリーニングし、合計15件の研究が本レビューの対象。
- これらの研究は、脳性麻痺($n=2$)、脳卒中($n=6$)、パーキンソン病($n=3$)、高齢者($n=2$)、精神疾患($n=2$)におけるPSEの有効性を検証。

- **研究デザイン** ランダム化比較試験($n=4$)、臨床対照試験($n=4$)、検査前後試験($n=7$)
- **サンプル数** 5から60名 脳性麻痺、脳卒中、パーキンソン病、高齢者、精神疾患
- **アウトカム指標**

標準化された機能評価は8件 フューゲル・マイヤー上肢($n = 2$)、ウルフ運動機能テスト($n = 2$)、アクションリーチアームテスト($n = 1$)、パデューペグボードテスト($n = 2$)、ロンベルグテスト($n = 1$)、バーテル指数($n = 1$)、粗大運動機能測定($n = 1$)、小児障害評価($n = 1$)。その他の評価指標は、モーションキャプチャ運動学($n = 7$)、手の握力と筋力のためのダイナモーター($n = 2$)、および上腕二頭筋と上腕三頭筋の筋電図($n = 2$)

- **介入**は個別($n=10$)、グループ($n=5$)。
- **音楽の刺激** 生演奏と事前録音、メトロノームのみ
- **期間** 短い課題の繰り返しから45分のフルセッションまで、1日から6週間の頻度、1回から21回まで。

Table 1. Summary of included studies.

Author(s), Year	Clinical Population	Study Design	Sample Size (N) Age (M \pm SD) Sex (F/M)	PSE Intervention Design				Key Findings	
				Movement Task(s)	Comparison Task(s)	Musical Stimuli	Duration		
脳性 麻痺 良い	Wang et al., 2013 [40]	Cerebral Palsy–Spastic Diplegia	RCT	36 PSE: 18, 9 \pm 1.99 (6 F/12 M) Controls: 18, 8.98 \pm 2.61 (3 F/15 M)	Loaded sit-to-stands (LSTS)	-PSE: PSE music during LSTS -Controls: No music during LSTS	-Pre-recorded keyboard music -Individual, familiar, and preferred music -Spatial cues: ascending and descending melodic lines and volume -Temporal cues: changing meter and tempi for different movement aspects -Force cues: rhythm and articulation during seat-off transfer	Three sets of 10 repetitions, 3 times/week for 6 weeks	PSE \uparrow gross motor capacity, but not significantly in daily functioning, strength, and walking speed
高齢者 あいまい	Peng et al., 2011 [41]	Cerebral Palsy–Spastic Diplegia	Pre-, post-test	23 8.7 \pm 2 (10 F/13 M)	LSTS	-PSE Condition: PSE music during LSTS -Control Condition: No music during LSTS	-Pre-recorded keyboard music -Individual music -Spatial cues: ascending and descending melodic lines and volume -Temporal cues: tempo based on baseline speed; simple harmony for synchronization -Force cues: rhythm and articulation during seat-off transfer; increased volume during sitting; decreased volume during standing	Single session: two trials of eight repetitions	PSE \uparrow LSTS immediately, \uparrow total/knee peak extensor powers, \uparrow movement smoothness, \downarrow speed
高齢者 あいまい	O'Konski et al., 2010 [42]	Geriatrics	Pre-, post-test	45 73.5 \pm 20.5 (42 F/3 M)	Seated exercise	-PSE Condition: PSE music during exercise -Background Music Condition: big band music during exercise	-Pre-Recorded PSE music -Pre-recorded big band music	Three 20 min sessions of each condition	No significant differences between conditions グループはテンポなどの設定が難しい
統計分析なし	Toma et al., 2024 [43]	Geriatrics– Neuromotor Deficits	Pre-, post-test pilot	6 73.8 (2 F/4 M)	Hand grip, arms up and down	-PSE music during exercise	-Live PSE music -Simultaneous with metronome -Spatial cues: ascending and descending melodic lines during arms up and down -Temporal cues: exercises synchronized to a set tempo -Force cues: tense harmony during hand grip, resolution during relaxation	Two 30 min sessions/week for 4 weeks	PSE \uparrow muscle strength

Table 1. Cont.

Author(s), Year	Clinical Population	Study Design	Sample Size (N) Age (M \pm SD) Sex (F/M)	PSE Intervention Design				Key Findings
				Movement Task(s)	Comparison Task(s)	Musical Stimuli	Duration	
Smith et al., 2024 [44]	Parkinson's Disease	CCT	17 PD: 7, 74.9 \pm 4.43 (15 F/8 M) Controls: 10, 19.9 \pm 0.74 (7 F/3 M)	Repetitive arm reaching	-Three cueing conditions: No cueing, Rhythmic PSE, Sonified PSE	-Rhythmic PSE: metronome only at 70 beats per minute -Sonified PSE: pre-recorded, familiar piano folk tune simultaneous with metronome at 70 beats per minute -Spatial cues: forward movement cued with a chord on strong beats with loud volume; backward movement on weak beats with soft volume -Temporal cues: reaching synchronized to beat -Melody played with strong chordal cues to emphasize extension and flexion	Three 60 s trials of each condition	Sonified PSE ↑ movement smoothness
Fan et al., 2022 [45]	Parkinson's Disease	CCT	46 PD: 23, 67.30 \pm 7.86 (15 F/8 M) Controls: 23, 64.13 \pm 5.59 (13 F/10 M)	Pegboard task	-PSE-RAS during a pegboard task at 100% speed (self-paced baseline), 110%, and 120% with left hand, right hand, and both	-PSE-RAS -Metronome only -Temporal cues: movement synchronized to beat at each speed	30 s per task	Faster PSE-RAS ↑ movement speed for each task
Bukowska et al., 2016 [46]	Parkinson's Disease	CCT pilot	55 NMT: 30, 63.4 \pm 10.61 (15 F/15 M) Controls: 25, 63.44 \pm 9.67 (10 F/15 M)	Activities of daily living, balance, pre-gait, and gait	-NMT: PSE, RAS, and TIMP for activities of daily living, balance, pre-gait, and gait -Controls: maintain current ADLs with no music	-Pre-recorded rhythmic music -Mostly African and Indian music -With embedded metronome -Temporal cues: rhythm and beat synchronized movement -General use of musical elements—pitch, dynamics, harmony, meter, tempo, and rhythm to organize movement	Four 45 min sessions/week for 4 weeks	NMT ↑ rhythmic movements and ↑ in stability with eyes closed/proprioception

パーキンソン病
さまざま

Table 1. Cont.

Author(s), Year	Clinical Population	Study Design	Sample Size (N) Age (M \pm SD) Sex (F/M)	PSE Intervention Design				Key Findings
				Movement Task(s)	Comparison Task(s)	Musical Stimuli	Duration	
Chouhan et al., 2012 [47]	Stroke	RCT	45 PSE-RAS: 15, 56.73 \pm 5.99 (3 F/12 M) VC: 15, 58.13 \pm 4.14 (3 F/12 M) CT: 15, 57.33 \pm 5.51 (3 F/12 M)	Affected arm/hand reach- ing/functional tasks	-PSE-RAS: affected arm/hand reaching/functional tasks self-paced then with PSE-RAS + CT -VC: select, lift, and transfer different objects + CT -CT: stretching of tightened muscles and exercises	-PSE-RAS -Metronome only -Temporal cues: movement synchronized to beat	30 s trials for each task, 5–10 repetitions	All groups had \uparrow in FM-UE. Gross motor skills \uparrow faster than fine motor Fugl-Meyer Upper Extremity
Tian et al., 2020 [48]	Stroke	RCT pilot	30 PSE-RAS: 15, 66.67 \pm 13.59 (2 F/13 M) Controls: 15, 64.40 \pm 13.41 (5 F/10 M)	Shoulder/arm/hand movements and functional tasks	PSE-RAS during shoulder/arm/hand movements and functional tasks at the baseline speed, increasing by 5%	-PSE-RAS -Metronome only -Temporal cues: movement synchronized to beat	PT/OT 30 min/day each, 5 days/week for 4 weeks PSE-RAS: additional PSE-RAS 30 min/day Controls: additional PT/OT 15 min/day each	PSE-RAS \uparrow WMFT and \uparrow BI. \uparrow co-activation interval of biceps and triceps Wolf Motor Function Test Barthel Index
Kang et al., 2020 [49]	Stroke	Pre-, post-test	18 49.78 \pm 15.55 (8 F/10 M)	Affected shoulder movements	-During rhythmic PSE and melodic PSE (the same time pattern, different melodic frequencies)	-Rhythmic PSE: metronome only -Spatial cues during melodic PSE: ascending, stationary, and descending melodic lines for shoulder abduction, holding, and adduction -Temporal cues: movement synchronized to beat in both cueing conditions	Single session: five trials per cueing condition	Rhythmic and melodic PSE \uparrow all movements. Melodic PSE \downarrow movement time 提示順が不明

Table 1. Cont.

Author(s), Year	Clinical Population	Study Design	Sample Size (N) Age (M ± SD) Sex (F/M)	PSE Intervention Design				Key Findings
				Movement Task(s)	Comparison Task(s)	Musical Stimuli	Duration	
Kim et al., 2014 [50]	Stroke	Pre-, post-test	16 49.2 ± 17.65 (7 F/9 M)	Affected arm reaching	-First at a self-paced speed, then with PSE-RAS at a matched baseline speed	-PSE-RAS -Metronome only -Temporal cues: movement synchronized to beat	Single session: 1 min task intervals	PSE-RAS ↑ movement quality and coordination, ↑ elbow extension, ↓ movement time and number of units, ↑ tricep activation, ↓ co-contraction ratio
Malcolm et al., 2009 [51]	Stroke	Pre-, post-test pilot	5 72.8 ± 6.5 (0 F/5 M)	Affected arm reaching with changing distances and directions	-First at a self-paced speed, then with PSE-RAS at a matched baseline speed	-PSE-RAS -Metronome only -Temporal cues: movement synchronized to beat	2 weeks of 3 days/week: 1 onsite + 2 home hours + 2 days/week: 3 home hours	PSE-RAS ↓ trunk compensation, ↑ shoulder flexion, ↑ elbow extension, ↑ movement time, ↑ velocity, ↑ functional gains
Kalidasan et al., 2022 [52]	Stroke	Pre-, post-test	60 35–60 years PSE-RAS: 20 MT: 20 CT: 20	Affected arm/hand functional tasks	-PSE-RAS: affected arm/hand functional tasks with PSE-RAS -MT: simultaneous affected and unaffected arm/hand movements with mirror -CT: free arm movements, tone normalization, voluntary sensory re-education	-PSE-RAS -Metronome only -Temporal cues: movement synchronized to beat	20 min/day, five sessions/week for 4 weeks	PSE-RAS had most ↑ hand function and ↑ hand grip
Wang et al., 2023 [53]	Psychiatric Conditions—Psychotic-Like Experiences	RCT	35 PLEs: 17, 20.71 ± 2.45 (9 F/8 M) Controls: 18, 21.22 ± 4.71 (8 F/10 M) → PLEs with PSE-RAS: 8 PLEs without PSE-RAS: 9	Reach/grasp/move beans	-PLEs with PSE-RAS: functional tasks of reach/grasp/move beans at normal, quick, and fast tempi -PLEs without PSE-RAS: Functional task of reach/grasp/move beans as fast as possible	-PSE-RAS -Metronome only -Temporal cues: movement synchronized to beat	40 min/day for 21 days	PSE-RAS ↓ movement slowing, ↓ number of movement units, ↓ irregular muscle contraction

Table 1. *Cont.*

Author(s), Year	Clinical Population	Study Design	Sample Size (N) Age (M \pm SD) Sex (F/M)	PSE Intervention Design				Key Findings
				Movement Task(s)	Comparison Task(s)	Musical Stimuli	Duration	
Wang et al., 2021 [54]	Psychiatric Conditions- Schizophrenia Spectrum Disorders	CCT	60 SSD: 30, 47.77 ± 11.54 (13 F/17 M) Controls: 30, 40.43 ± 14.74 (15 F/15 M)	Pegboard task	-Normal PSE-RAS Condition: pegboard task at 100% of the baseline speed -Fast PSE-RAS Condition: pegboard task at 120% of the baseline speed	-PSE-RAS <u>-Metronome only</u> -Temporal cues: movement synchronized to beat	Single session: three trials of each condition	Fast PSE-RAS ↑ movement speed and ↑ task scores

Note: ADLs: activities of daily living, BI: Barthel Index, CCT: clinical control trial, CT: conventional therapy, FM-UE: Fugl-Meyer Upper Extremity, F: female, LSTS: loaded sit-to-stands, M: male, MT: mirror therapy, NMT: neurologic music therapy, OT: occupational therapy, PD: Parkinson's Disease, PLEs: psychotic-like experiences, PT: physiotherapy, PSE: patterned sensory enhancement, RAS: rhythmic auditory stimulation, RCT: randomized controlled trial, SSD: schizophrenia spectrum disorders, TIMP: therapeutic instrumental music playing, VC: visual cueing, WMFT: Wolf Motor Function Test.

精神
疾患
アツ
ブ

考察

- 研究デザイン、期間、実施量、対象となる運動(動作)、評価方法、対象疾患がさまざま
- 脳卒中と神経疾患におけるPSE研究はリズム(メトロノーム)のみを用いている。小児麻痺に対する研究は録音された音楽を使用。
- フォローアップテストなどを行っていない。
- 用語が統一されていない。

考察：潜在的な神経メカニズム

- 音楽リズムは特に脳の運動関連領域における脳波を同調させる。
- 上肢の運動は、運動および運動に関連する皮質領域に見られる、1Hzから4Hzの振動周波数で起こる規則的な運動で構成されている。
- 高齢者でも音楽のリズムによる影響が示されており、リズムに基づく介入が健康機能を支援する可能性が示唆される。
- RASは特にPDにおいて脳波を調節することで運動機能を高めることが示されている。
- 音高、旋律、音色、ダイナミクスなど他の音楽要素をさらに調査することで、神経メカニズムへのより深い洞察が得られ、それらが脳機能にどれほど影響を与えるかの理解を深めると考える。

考察：研究の限界と展望

- ・サンプル数が少ない、介入の詳細が不十分、PSEと他の技法が組み合わされている、統計分析の欠如、即時的な効果のみの調査、フォローアップなど長期的なアウトカム評価の欠如
- ・リズムに加えて他の音楽的要素が肩の機能や動作時間に利益をもたらした可能性があると示唆されており、さらなる研究の可能性
- ・合図の効果は動きの種類によって異なる。
- ・適切なPSEの用量と頻度
- ・音楽は気分を高める強力なモチベーターとなり得る
- ・運動機能の維持を目標とする場合も考慮が必要
- ・PSEの最適用量を調査する

結語

- 健康/リハビリテーション成果向上のため音楽の応用が増加
- 本レビューはPSEが
 - CP、脳卒中、PD、精神疾患における運動機能の改善に効果的であることを示唆
 - 高齢者では矛盾が示されていることを示唆
- 今後の研究では、特定の音楽要素、動きの種類、用量、動機付けの役割、音楽の好みに焦点を当てることが有益
- PSEと他の音楽的介入方法(RASなど)を区別するために一貫した用語を使うことが、各技法の標準化に向け重要
- 脳損傷、多発性硬化症、ハンチントン病、発達協調障害、自閉症スペクトラム障害など他の集団に対する研究が少ない

医療システムの需要増加は、患者のニーズに効果的に対応するために臨床技術を最適化する必要性を示す。したがって、PSEのような運動に焦点を当てた介入を含む音楽ベースの介入の潜在的な利益を十分に理解するためには、さらなる研究が不可欠