

■ 原著

老健利用の要介護者に対する促通反復療法と 持続的電気刺激, 振動刺激の歩行への即時効果の検討

Immediate effect of Repetitive Facilitative Exercise combined with continuous electrical stimulation, vibratory stimulation on gait of care recipients in nursing home health care facilities.

渡邊 美幸¹⁾, 吉竹 将大¹⁾, 帆足 美奈¹⁾, 渡邊 裕太¹⁾, 皆川 翼²⁾,

川平 和美³⁾, 大久保 健作¹⁾²⁾

Watanabe Miyuki¹⁾, Yoshitake Masahiro¹⁾, Hoashi Mina¹⁾, Watanabe Yuta¹⁾,
Minagawa Tsubasa²⁾, Kawahira Kazumi³⁾, Okubo Kensaku¹⁾²⁾

1) ヴァル・ド・グラスくじゅう

〒878-0204 大分県竹田市久住町大字栢木 574-34

Tel : 0974-64-7500 Fax : 0974-64-7502

E-mail : val-reha@okubo-hp.com

2) 大久保病院

3) 促通反復療法研究所〈川平先端リハラボ〉

1) Val・de・Grace Kuju

574-34.Kayagi,Kuju-machi,Taketa-shi,Oita. 878-0204, Japan

Tel: +81-974-64-7500

2) Okubo Hospital

3) Laboratory of Repetitive facilitative exercise

保健医療学雑誌 9 (1): 12-18, 2018. 受付日 2017年2月1日 受理日 2017年10月10日

JAHS 9 (1): 12-18, 2018. Submitted Feb. 1, 2017. Accepted Oct. 10, 2017.

ABSTRACT:

The immediate effects of Repetitive Facilitative Exercise (RFE), continuous electrical stimulation (FES) and vibratory stimulation (VS) on gait and foot tapping were studied in 17 care recipients in nursing home health care facilities. Gait speed was significantly improved by RFE alone and by RFE combined with FES and VS, and the improvement persisted during the OFF period (Post stimulation). Gait speed improved further when stimulation was changed from RFE alone to RFE combined with FES and VS but worsened when stimulation was changed from RFE combined with FES and VS to the OFF condition. Both FES and VS significantly increased the number of foot tappings on the disabled side, and this improvement persisted during the OFF period. There were significant differences in the number of foot tappings between FES and FES combined with VS, and between FES and the OFF condition. The number of foot tappings on the non-disabled side was not significantly increased by stimulations with FES and VS or during the OFF period. There were strong correlations between gait speed during RFE combined with FES, VS and age ($r=0.5$), and between gait speed during the OFF period and age ($r=0.62$) ($p < 0.05$). However, there was no correlation between physical factors and foot tapping with stimulations.

Key words: Repetitive Facilitative Exercise, Combination therapy of continuous electrical stimulation and vibratory stimulation, Nursing home health care facilities

要旨：

本研究は、維持期における促通反復療法と持続的電気刺激、振動刺激が歩行能力と下肢協調運動に与える即時効果とその効果に影響する要因を明らかにすることを目的とした。介護老人保健施設利用の要介護者 17 名に対して、介入前と促通反復療法、持続的電気刺激、振動刺激における歩行速度とフットタップの即時変化を比較した。歩行速度は介入前に比べて、促通反復療法、促通反復療法と持続的電気刺激の併用、促通反復療法と持続的電気刺激、振動刺激併用と何れの刺激でも有意に改善し、すべての刺激を除いた OFF でも有意差がみられた。刺激間の比較では、促通反復療法より促通反復療法と持続的電気刺激、振動刺激の併用で有意($p<0.05$)に改善した。

障害側のフットタップは刺激によって有意に改善したが、非障害側では有意に改善はしなかった。歩行速度の変化量(介入前との差)は、促通反復療法と持続的電気刺激と振動刺激の併用と、すべての刺激を除いた状態での改善は年齢と有意に相関がみられたが、罹患期間とは相関がなかった。

キーワード：促通反復療法、持続的電気刺激および振動刺激の併用療法、介護老人保健施設

はじめに

現在、急性期と回復期の入院期間の短縮が指向されているが、これらを担当する病院で科学的で効果的なりハビリテーション医療の十分量の提供がないと、患者は病院で十分な機能・能力の回復が得られず在宅復帰をすることとなる。通所リハビリテーション(以下、通所リハと略す)の利用者の中にもリハビリテーション医療の不足を感じる例があるが、通所リハでは生活動作改善を目的としたリハビリテーションを求められるため、機能・能力の改善へのリハビリテーションに工夫が必要になる。

機能・能力の回復と生活動作改善は表裏一体であり、機能・能力の改善により、生活動作の選択の幅が増えるとともに、より安全な動作が獲得できることから、通所リハでも機能・能力レベルの訓練内容も治療プログラムに備えておく必要がある。

要介護在宅患者の転倒による重篤な外傷(骨折や入院加療の必要な外傷)発生は歩行中に最も多く発生している。また重篤な外傷発生後、移動能力・要介護度は有意に悪化している¹⁾。

今回、家庭での移動能力の主体となる歩行能力を向上させる治療法を検索する目的で、今後の治療効果を高める手法につながる治療として、脳卒中治療ガイドラインにてグレード B という高いエビデンスを示している促通反復療法(Repetitive Facilitative Exercise: 以下 RFE)を選択した²⁾。RFE は神経路の再建・強化あるいは運動学習を促進する治療理論として、新たな促通手技を用いて目標の運動の実現と反復(目標の神経回路への興奮伝達と反復)を重視している^{3,4)}。RFE は、目標の運動の実現と反復を容易にする目

的で、持続的電気刺激療法(continuous-Electrical Stimulation: 以下 FES)⁵⁾や運動路の興奮水準を調整する振動刺激療法(Vibratory Stimulation: 以下 VS)⁶⁾を併用することが多い。

今回、RFE と FES, VS の相乗効果が歩行能力と下肢協調運動に与える即時効果とその効果に影響する要因について検討したので、報告する。

対象と方法**対象**

対象は通所リハに通っている要介護度認定を受けている利用者の内、自立歩行可能(歩行補助具の使用は許す)で、FES と VS の禁忌事項に該当せず、研究に対し同意が得られた 17 名(性別; 男性 6 名, 女性 11 名, 平均年齢; 80.2 ± 13.2 歳, 平均罹患期間; 48.0 ± 28.8 カ月, 介護度; 要介護 1 が 9 名, 要介護 2 が 7 名, 要介護 3 が 1 名, 疾患別; 神経疾患 11 名, 整形疾患 2 名, その他疾患 4 名, 両側に障害がある者は除外.)である。

方法

対象者 17 名全員に対して、歩行能力を向上させる可能性のある治療手技として、RFE と FES, VS を用いた。その詳細を以下に示す。

1) 介入手技**a) RFE**

歩行への RFE では、図 1 に示すように、治療者が障害側遊脚期に障害側単徑靭帯の刺激と非障害側中殿筋へのタッピングを行い、障害側立脚期には障害側中殿筋へ刺激を与える。初回の RFE 下の 5m 歩行速度測定は、まず被検者の不安を除くため、立位で実際の操作を行いながら説明した後、実施した。RFE と FES や VS との併用時は口頭での説明を測定前に行った。なお、検者は鹿

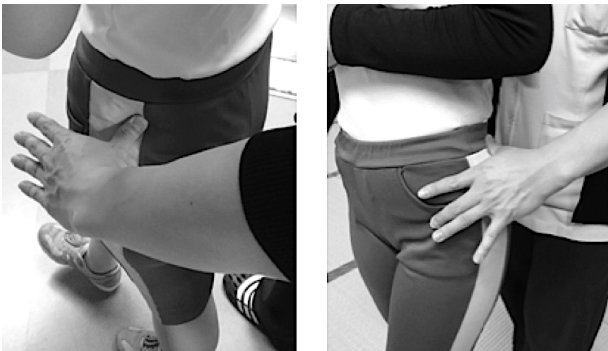


Figure 1. Repetitive facilitative exercise for walking. Left side) Tapping on the gluteus medius muscle on the disabled side during the stance phase. Right side) Stimulation to the inguinal ligament on the disabled side during the swing phase.

児島大学霧島リハビリテーションセンターで RFE の研修 (2 週間) を受け、歩行促進法を習得している。

b) FES

低周波治療器トリオ 300 (伊藤超短波社) を用いて、TENS モード (50Hz, 180 μ s, 電流量; 運動閾値で個別に設定) で、両中殿筋に持続的に電気刺激⁵⁾を 5m 歩行速度測定中、フットタップ測定中に行なった。

c) VS

VS は THRIVE 社製のハンディマッサージャー MD-01 を用いて、感覚刺激と筋出力向上による立脚期での支持性向上を目的に High モード (110Hz) で下肢・体幹に計 3 分間施行した。骨格筋への 100~200Hz の VS は緊張性振動反射が生じ、緊張性振動反射により刺激筋の反射性の収縮と拮抗筋への抑制効果が生じる⁷⁾。本研究では全身で 3 分間という短い時間の VS を用いたため、緊張性振動反射の影響を受けやすい痙縮筋は避けて実施した。

2) 評価

実験プロトコルを図 2 に示す。評価は 5m 歩行速度とフットタップ (回/10 秒) を用いた。歩行障害があって疲労しやすい高齢者が対象であることを考慮して、簡便に測定できる 5m 歩行速度と、フットタップを計測した。フットタップは歩行と関連する協調運動として、歩行中のクリアランスとも関連する足関節背屈運動の円滑さを反映するため採用した。

Protocol of 5m walking test										
(1) Control walking test	rest (1 m n)	(2) RFE walking test under RFE	rest (1 m n)	(3) RFE+FES walking test under RFE+FES	rest and VS (3 m n)	(4) RFE+FES+VS walking test under RFE+FES	rest (1 m n)	(5) OFF walking test		
Protocol of foot-tapping test										
(1) Control foot tapping	rest (1 m n)	(2) FES foot tapping under FES	rest and VS (3 m n)	(3) FES+VS foot tapping under FES	rest (1 m n)	(4) OFF foot tapping				

Figure 2. Research protocols

Protocols for 5m walking test (Upper panel) and foot-tapping test (Lower panel) are shown in Fig 2. Walking was measured in a continuous sequence: (1) control, (2) walking with RFE, (3) walking with RFE + FES, (4) walking with RFE + FES + VS, (5) OFF.

Foot tapping was measured during a continuous sequence: (1) control, (2) foot tapping with FES, (3) foot tapping with FES + VS, (4) OFF.

Note. RFE: Repetitive facilitative exercise, FES: continuous electrical stimulation, VS: vibratory stimulation, OFF: Post stimulation

a) 5m 歩行速度:

5m の歩行路と前後に 1.5m ずつの助走路を設け、測定開始位置の 1.5m 前より歩行を始め、開始地点を足部が越えた時点から測定終了地点を越えるまでの所要時間を計測した。歩行時の指示は「できる限り速く歩いて下さい」に統一した。

5m 歩行速度測定は、(1)介入前の歩行、(2)RFE、(3)RFE と FES の併用 (RFE+FES)、(4)RFE と FES, VS の併用 (RFE+FES+VS)、(5)全ての介入を除いて (OFF 期) の順に計 5 回行なった。各測定の間 1 分間の休憩を行った。なお、(5)は介入効果が 1 分後も継続するか否かを判断するために計測した。

b) フットタップ

高さ 40cm の椅子に坐わり、踵を接地したままでの足関節の底背屈回数を 10 秒間計測した。フットタップの測定は、(1)介入前のフットタップ回数、(2) FES、(3)FES と VS の併用 (FES+VS)、(4) OFF 期順に計 4 回行なった。各測定の間 1 分間の休憩を行った。なお、(4) 介入効果が 1 分後も継続するか否かを判断するために計測した。

3) RFE と FES, VS の併用効果に影響する要因

RFE と FES, VS の併用効果に影響する要因を検討する目的で、歩行速度とフットタップの変化量 (介入前からの変化量) と、正確な情報の得られる (1)年齢、(2)罹患期間、(3)介入前値との関連を検討した。

統計処理は、5m 歩行速度に関しては 5 群間、フットタップに関しては 4 群間の各介入の組み合

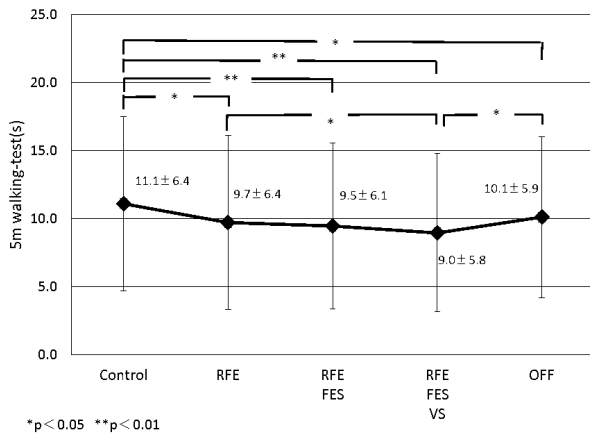


Figure 3. Effects of repetitive facilitative exercise and those of RFE combined with continuous electrical stimulation or RFE with FES and VS on gait speed.

Note. RFE: Repetitive facilitative exercise, FES: continuous electrical stimulation, VS: vibratory stimulation, OFF: Post stimulation

When gait speeds were compared among control, RFE alone, RFE with FES, RFE with FES and VS, and OFF using ANOVA (Analysis of Variance) and Holm's Sequentially Rejective Bonferroni Test, gait speed with RFE alone or in combination with other stimulations and that during the OFF period were significantly greater than gait speed during the control trial. Gait speed with RFE was improved further when RFE was combined with FES and VS. Gait speed showed greater improvement when stimulation was changed from RFE alone to RFE combined with FES and VS and worsened when stimulation was changed from RFE combined with FES and VS to the OFF condition.

わけの効果を比較するため、一元配置分散分析によって有意差が認められた場合は更に Holm 法での多重比較を用いて有意差の検定を行った。有意水準は $p < 0.05$ とした。

要因と歩行速度やフットタップの変化量との相関関係の検証はピアソンの積率相関係数を用い、有意水準を $p < 0.05$ と設定した。

本研究はヘルシンキ宣言に基づき、母体病院である大久保病院の倫理委員会の承認を受けている。

結果

1) 歩行速度について

RFE や FES, VS の 5m 歩行に与える効果を図 3 に示す。5m 歩行速度は介入前の 11.1 ± 6.4 秒に比べて、RFE が 9.7 ± 6.4 秒 ($p < 0.05$)、RFE+FES が 9.5 ± 6.1 秒 ($p < 0.01$)、RFE+FES+VS が 9.0 ± 5.8 秒 ($p < 0.01$) と何れの介入も約 2 秒の改善がみられた。介入間の比較では、RFE の 9.7 ± 6.4 秒から RFE+FES+VS で 9.0 ± 5.8 秒へ有意 ($p < 0.05$)

Table 1. Correlation between physical factors and changes of gait speed with stimulation

	Changes of gait speed			
	RFE	RFE FES	RFE FES VS	OFF
Age	0.07	0.27	0.5*	0.62**
Disease Duration	0.15	0.05	0.14	0.09
Gait speed of Control	-0.13	-0.31	-0.28	-0.46

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

Note. RFE: Repetitive facilitative exercise, FES: continuous electrical stimulation, VS: vibratory stimulation, OFF: Post stimulation

There were strong correlations between changes in gait speed with RFE and FES, VS and age ($r = 0.5$) ($p < 0.05$), and between those during the OFF period and age ($r = 0.62$) ($p < 0.01$). There was no correlation between gait speed during the control trial and changes of gait speed during the OFF period ($r = -0.46$) ($p = 0.06$).

に改善した。OFF 期では 10.1 ± 5.9 秒 ($p < 0.05$) と介入前と 1.1 秒の有意な差があったが、RFE+FES+VS の 9.0 ± 5.8 秒と OFF 期の 10.1 ± 5.9 秒とも有意 ($p < 0.05$) に差がみられた。

介入による歩行速度変化量に関連する要因 (年齢、罹患期間、介入前の歩行速度) との相関について、表 1 に示す。有意の相関が認められたものの相関係数と近似式は RFE+FES+VS による歩行速度の変化と年齢が $r = 0.5$ ($p < 0.05$, $y = 0.06x - 7.09$)、すべての介入を除いた状態での歩行速度変化と年齢が $r = 0.62$ ($p < 0.01$, $y = 0.06x + 5.98$) だった。ただ、これらの近似式の傾きが 0.06 であることから年齢の影響は弱いことになる。また、各介入と罹患期間や介入前の歩行速度とは相関がなかった。

2) フットタップについて

障害側に対する FES と VS によるフットタップの変化を図 4 に示す。障害側のフットタップは介入前 20.9 ± 8.4 回と比較して FES が 21.8 ± 8.9 回 ($p < 0.05$)、FES+VS が 24.5 ± 9.4 回 ($p < 0.01$) と有意な改善がみられた。介入間の比較では FES の 21.8 ± 8.9 回から FES+VS で 24.5 ± 9.4 回 ($p < 0.01$) に有意に改善した。また、介入前 20.9 ± 8.4 回と比較して、OFF 期で 23.8 ± 8.1 回 ($p < 0.01$) と有意な差がみられ、FES の 21.8 ± 8.9 回から OFF 期で 23.8 ± 8.1 回 ($p < 0.01$) と有意な差がみられた。

非障害側に対する FES と VS によるフットタップの変化を図 5 に示す。非障害側のフットタップは介入前と FES, FES+VS, OFF 期の 4 群間の比較では有意差 ($p = 0.11$) は無かった。

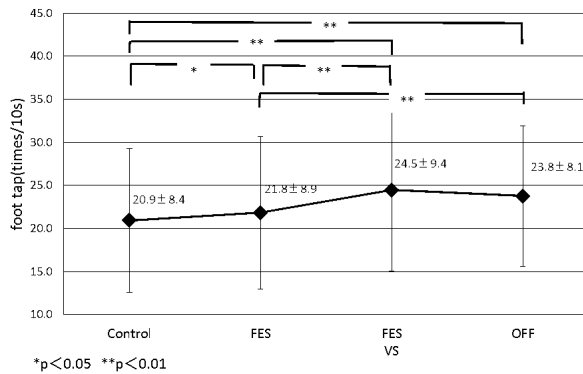


Figure 4. Effect of continuous electrical stimulation and vibratory stimulation on foot tapping on the disabled side. Note. FES: continuous electrical stimulation, VS: vibratory stimulation, OFF: Post stimulation

The number of foot tapings on the disabled side was significantly increased by both FES and FES combined with VS, and during the OFF period. There were significant differences in the number of foot tapings between FES and FES combined with VS, and between FES and the OFF condition.

FES と VS によるフットタップの変化量に関連する要因(年齢, 罹患期間, 介入前)との相関係数を表 2 に示す. 障害側と非障害側とも関連要因との有意の相関はなかったが, $p=0.11$ のもののみ近似式を示すと, 障害側のフットタップが罹患期間と FES; $r=-0.4$ ($p=0.11$, $y=-0.004x+0.61$), 罹患期間と FES+VS; $r=-0.4$ ($p=0.11$, $y=-0.03x+5.03$) であった. 非障害側のフットタップは年齢や罹患期間, 介入前の歩行と相関しなかった.

考察

当施設に通所リハに通っている要介護者 17 名を対象に, RFE, FES, VS の相乗効果が歩行に与える即時効果を検証し, 歩行速度は介入前と比較し全てにおいて有意に改善した. 障害側のフットタップは介入前と比較して全てにおいて有意に改善した.

歩行速度について

5m 歩行速度は RFE, RFE+FES, RFE+FES+VS の全てで有意に改善し, 介入前より改善した.

本研究の対象者は平均罹患期間 48.0 ± 28.8 か月と維持期の利用者であるが, RFE が片麻痺上肢と下肢, 歩行の改善⁹⁻¹¹⁾, RFE と FES¹²⁾, VS の併用療法が老健利用者の片麻痺上肢の回復

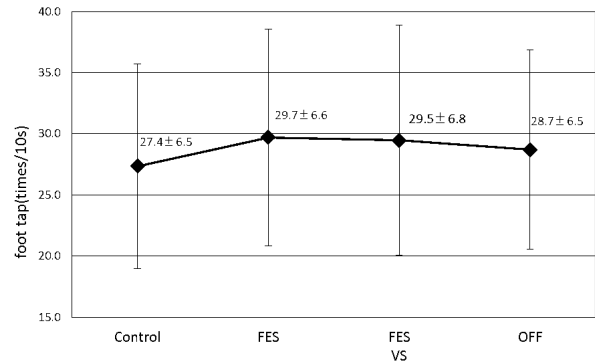


Figure 5. Effect of continuous electrical stimulation and vibratory stimulation on foot tapping on the non-disabled side.

Note. FES: continuous electrical stimulation, VS: vibratory stimulation, OFF: Post stimulation

The number of foot tapings on the non-disabled side was not significantly increased by FES and VS or during the OFF period.

を促進することがしめされており⁸⁾, RFE と FES, VS の併用は, 罹患期間の長い維持期の対象者にも下肢機能や歩行への効果があると考えられる.

今回は RFE と FES, VS の相乗効果の検討を目的としていたため, 個々の介入の間隔を十分に空けていない. そのため, RFE 以降の介入については個々の効果の検討はできない. 個々の介入の有用性を立証するには, FES・VS の効果が 30 分程度継続することから, 個々の介入毎の計測までの間隔を 1 時間程度空けるなど, 今後の研究で改良をしていく必要があると考えられる.

RFE と FES と VS の併用の効果と関連する要因との検討では, RFE+FES+VS のと, すべての介入を除いた状態での改善は年齢と有意の相関がみられたが, 罹患期間とは相関がなかった. RFE+FES+VS による歩行速度の改善ならびに介入後の持続効果には年齢が影響するが, 近似式の傾きが 0.06 と小さいことから年齢の影響は小さいことが示唆された. しかし, 骨格筋量は, 横断的研究から一年あたりに 200~300g, 縦断的研究からは一年あたり 500g (男性) 低下すると報告されていることから^{13,14)}, 加齢に従って生じる運動予備能の低下への考慮が必要である. 脳卒中治療ガイドラインにおいても, 歩行能力の改善のために歩行や歩行に関連する下肢訓練の量を増やすことが強く勧められていることから²⁾, 加齢に伴う全般的な運動予備能の減少を補足する訓練内容の工夫を考える必要がある.

Table 2. Correlation between physical factors and changes of foot tapping with stimulation

	Disability side			Non-disabled side		
	FES	FES VS	OFF	FES	FES VS	OFF
Age	0.2	0.2	0.08	0.001	0.03	-0.08
Disease Duration	-0.4	-0.4	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2
Foot tapping of Control	-0.2	-0.04	0.06	0.09	0.1	0.2

Note. FES: continuous electrical stimulation, VS: vibratory stimulation, OFF: Post stimulation
There was no correlation between physical factors and changes in foot tapping with stimulation.

フットタップについて

障害側のフットタップは介入前と FES および FES+VS との間と、FES と FES+VS との間で有意な差を認めた。これは FES による神経路の反応性の向上、VS による運動路と感覚路の興奮水準の調整により改善がみられたと考えられる。また、介入前と OFF 期との間、FES と OFF 期との間で有意な差がみられた。また、FES+VS と OFF 期との間に有意な差がみられなかったことから、治療介入後も少なくとも 1 分間は介入効果が継続したと考えられる。

歩行において、足部のクリアランスは非常に重要である。今回、クリアランスが悪化する原因として①中殿筋の筋力出力低下、②足関節底背屈の協調性低下があると想定した。さらに、クリアランスの低下により、障害側下肢の遊脚相過剰努力が生じ、歩行速度の遅延が生じていたと考えた。このクリアランスの低下に対し、「RFE による目標の神経-筋伝達路の選択的興奮水準の向上」、「FES による神経路の反応性の向上」、「VS による運動路と感覚路の興奮水準の調整」の 3 つの相乗効果により、今回の即時的な歩行能力の向上が得られたと考えられる。

今後、歩行訓練には、訓練効果を高める工夫として RFE と FES, VS の併用を行うことが好ましい。

まとめ

生活自立と活動範囲拡大、介助軽減の重要な要因である歩行能力は老健利用している要介護者でも RFE の歩行促進法や FES, VS を併用することで即時的に高まることが示された。今後、要介護者を含む高齢者が転倒のない安全で、実用的

な歩行速度と歩行距離が維持出来るように、筋力強化などの廃用防止と補装具などを併用に加えて、RFE や FES, VS の併用など積極的なリハビリテーションプログラムの開発と普及が待たれる。

文献

- 1) 餐場郁子・斎藤由扶子・吉岡勝・他：要介護者における転倒による重篤な外傷の発生頻度および特徴～医療・介護を要する在宅患者の転倒に関する多施設共同前向き研究(J - FALLS)～.日本転倒予防学会誌 Vol.2: 19 - 33, 2015.
- 2) 脳卒中ガイドライン委員会：脳卒中治療ガイドライン リハビリテーション. 日本脳卒中学会：270-317, 2015.
- 3) 川平和美：片麻痺回復のための運動療法 促通反復療法「川平法」の理論と実際，38,医学書院, 2015.
- 4) 川平和美・下堂蘭恵:促通反復療法. 神経科学の最前線とリハビリテーション：脳の可塑性と運動, 183-185, 医歯薬出版, 2015.
- 5) 下堂蘭恵:脳卒中の新リハビリテーション機器 振動刺激や電気刺激を併用した促通反復療法による脳卒中片麻痺治療の展開. The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine 52 (6): 327-330, 2015.
- 6) 野間知一・川平和美: 痙縮に対する振動刺激. 総合リハビリテーション 39 巻 4 号: 332-337, 2011.
- 7) 川平和美・下堂蘭恵：7 振動刺激, JOURNAL OF CLINICAL REHABILITATION 21(6): p574-p579, 2012.
- 8) 林拓児, 石川定, 河村隆史・他: 通所リハビリテーションに於ける慢性期脳卒中片麻痺上肢への促通反復療法と治療的電気刺激・振動刺激との併用による麻痺改善効果. 理学療法科学. 32(1): p129-132, 2017.
- 9) Shimodozono M, Noma T, Nomoto Y, et al.:Benefits of a repetitive facilitative exercise program for the upper paretic extremity after subacute stroke:A randomized controlled trial. Neurorehabil Neural Repair. 27(4): 296-305, 2013.

- 10) Kawahira K, Shimodozono M, Ogata A, et al. Addition of intensive repetition of facilitation exercise to multidisciplinary rehabilitation promotes motor functional recovery of the hemiplegic lower limb. *J Rehabil Med*.36: 59-164, 2004.
- 11) 木佐俊郎, 酒井康生, 三谷俊史・他:回復期脳卒中片麻痺患者のリハビリテーションに促進反復療法を取り入れた場合の片麻痺と日常生活活動への効果;無作為化比較対照試験による検討. *Jpn J Rehabil Med* 48 (11): 709-16, 2011.
- 12) Shimodozono M, Noma T, Matsumoto S, et al.: Repetitive facilitative exercise under continuous electrical stimulation for severe arm impairment after subacute stroke: A randomized controlled pilot study. *Brain inj*. 28: 203-210, 2014.
- 13) Topinková E: Aging, disability and frailty. *Ann Nutr Metab* 52: 6-11, 2008.
- 14) Bunout D, de la Maza MP, Barrera G, et al.: Assessment of sarcopenia: longitudinal versus cross sectional body composition data. *Aging Clin Exp Res* 19: 295-299, 2007.