Japanese Physical Therapy Association

理学療法学　第30巻第6号　343～351頁（2003年）

報　告

等角速度運動が相反性脊髄反射回路に及ぼす影響の研究*

三和真人**

要旨

本研究は，理学療法の運動療法が中枢神経系にどのように影響するかを脊髄反射回路で起きる相反性抑制を通して，定量的に評価・測定するものである。方法は，平均年齢22歳のスポーツ経験のない健常成人10名を対象に，角速度60 deg/secと120 deg/secの2群に分け，等速性運動装置（サイベックス6000）を用いて10回10セット，セットごとの休息時間30秒の足関節底背屈運動を1日1回，9週間施行した。相反性抑制の測定は，3週毎に刺激時間1 msecの条件刺激を総腓骨神経に加えたヒラメ筋H反射によって行った。等速性運動による筋出力は，H反射振幅測定時に合わせて角速度30 deg/secごとに120 deg/secまでのピークトルク値で測定した。相反性抑制の判定は，条件刺激なし時のH反射振幅（Control H）を基準として，条件—試験刺激間隔0，1，2，3 msの条件刺激を加えたときのH反射振幅（conditioned H）をControl Hで除した比率を抑制の指標とした。Control Hに対するConditioned Hの振幅比率が1.0以下であれば，条件刺激としての総腓骨神経刺激によってH反射に抑制が出現したものとし，振幅比率が1.0以上であれば，H反射の抑制は生じないものと解釈した。H反射の振幅比率を指標にした両群の相反性抑制は，条件—試験刺激間隔2と3 msで運動開始前に比較して6週後より低下し，9週後では両群において3 msで6週後とほぼ同一の抑制比率であった。一方，両群の筋出力は，9週間を通して等速性運動のピークトルク値に変化がみられず，筋力の改善は認められなかった。加えて，条件－試験刺激間隔ごとにおける両群間で相反性抑制に明らかな差がみられなかった。以上のことより，運動の期間や頻度などが同じであることから，運動速度の違いが影響する可能性が少なく，むしろ運動回数が相反性抑制を規定する可能性を否定できないものと考えられた。

キーワード　相反性抑制，ヒラメ筋H反射，等速性運動

はじめに

近年，機能的磁気共鳴断層撮影（Functional MRI）やポジトロン断層撮影（Positron Emission Tomography; PET）など一般に使われるようになり，次第に脳皮質局在が解明されつつある。電気生理学をはじめリハビリテーション医学の領域においても，研究の内容が大きく変化している。しかし，理学療法における運動療法の効果に関した研究のほとんどは，関節可動域，筋力や筋張力，歩行能力，および日常生活動作（ADL）能力などの能力障害を中心として，特定の運動効果器の変化や特性から検討しているだけである。加えて，運動や治療効果の判定に関する研究においても，ひずみ計など単純な筋力計測機器をはじめ，加速度計，重心動揺計，3次元動作解析装置などの工学的分析方法が臨床場面で試みられているが，十分な成果をあげるまでには至っていない。いずれにせよ，理学療法士が行ってきた研究は，骨関節筋の運動を中心に末梢神経レベルから間接的に中枢神経系への影響を分析するに止まっており，直接的に運動が中枢神経系へ及ぼす影響について取り組んだ報告は希少である。今後，21世紀に理学療法を展開していく上において，理学療法士は，運動療法が中枢神経系に及ぼす影響を無視して通れないことを容易に想像できる。1つの試みとして，中枢神経系に対する定量的評価法として取り組みが可能なH反射測定に注目し，電気生理学的な視点から運動療法の治療効果について検討することとした。

H反射測定は，シナプス反射の電気的記録として，古くはHoffman[1]やMagladery[2]らの単シナプス反射の機構解明と痙縮の定量的評価にはじまり，主に中枢神経

* Effects of Isokinetic Exercise for Reciprocal Inhibitory Conjunction on Spinal Organization

** 山形県立保健医療大学　保健医療学部　理学療法学科
（〒990-2212　山形県山形市上柳260）
Makoto Miwa, RPT, MA, PhD: Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Yamagata Health Sciences University

（受付日　2001年9月6日／受理日　2003年4月26日）

NII-Electronic Library Service

Japanese Physical Therapy Association

障害の客観的かつ定量的評価法として各種中枢神経疾患の病態解明に活用されるようになった。しかしながら，H反射の測定の意味づけは，時代とともに測定目的も変遷し，脊髄α運動ニューロンの興奮性だけではなく，求心性Ia神経線維の終末からα運動ニューロン（α motoneurone）へのシナプス膜電位変化である信号伝達を反映するものと次第に考えられるようになっている。

今回，運動療法で活用されている筋力強化法のひとつで，比較的容易に条件の統制が可能な等速度運動に注目し，運動の継続が中枢神経系の脊髄神経髄節レベルで直接的に脊髄反射回路網におけるIaやIbの介在ニューロンの抑制やα運動ニューロンの活動電位に影響を及ぼすものと仮定した。つまり，拮抗筋への効率的な抑制が，相対的に主動筋のmotor unitのrecruitmentを高め，次第に筋線維の直径を太くし，筋出力を改善させていくものと考えられた。したがって，等加速度運動が相反性脊髄反射回路に及ぼす経時的影響をH反射振幅測定と筋出力ピークトルク値から検討した。研究の結果，Ia介在ニューロンの抑制量が増加するなど脊髄反射回路網の成熟と筋出力変化や運動効果との関連性について，興味ある知見を得たので報告する。

対象および方法

中学校・高等学校や大学を通じて，体育の授業以外にこれまでスポーツ経験がない平均年齢22歳の健常成人10名の右脚を対象とした。スポーツ経験のない人に比較して，スポーツ活動を行っている人は相反性抑制が大きいとの田中[3]やHultborn[4]らの報告から，運動速度，運動回数や運動頻度など運動量の違いが相反性抑制に影響するものと仮定した。特に，運動速度が相反性抑制を高める要因になり得るものと想定し，健常成人を角速度60 deg/sec（男性2名，女性3名。平均年齢22 ± 5.6歳）と120 deg/sec（女性5名。平均年齢20 ± 1.9歳）の2群に分けた。運動課題は，足関節の最大底背屈可動域の繰り返し運動を素早く行わせることとした。運動内容と運動時間は，足関節運動用補助器具を装着した等速性運動装置（サイベックス6000）を用いて10回10セット，セットごとの休息時間は30秒に設定し，1日15分間の訓練時間とした。訓練頻度は1週間に5回とし，9週間継続した。9週間の運動期間とした理由は，運動効果が現れ，シナプスの発芽が形成される時期などを考慮に入れたためである。なお，課題前後に運動効果を確認するため，2群の運動課題の開始時に運動前と運動終了直後で相反性抑制の変化も測定した。

等速度運動の肢位は，仰臥位で体幹下部と骨盤をベルトで固定し，更に運動側下肢を大腿固定用アダプターで股関節45°屈曲位と膝関節90°屈曲位にて固定した。足関節はフットレストとユニバーサルアダプターで固定した。

実験開始にあたり，被検者に本研究の意義と目的，方法などの十分な説明を行い，同意を得ている。

ヒラメ筋H反射の測定は，下肢筋の緊張が安定した状態を考慮し，20分以上の安静を取らせた後に測定開始とした。測定肢位は，最も容易に反射が誘発される腹臥位とし，頭部は軽度屈曲，両上肢肩関節90°外転，肘関節90°屈曲，両下肢膝関節軽度屈曲位とした。また，測定中にヒラメ筋の長さを一定に保つため，足関節は底背屈0°に装具で固定した[5)6)]。

H反射の誘発は，Lloyd[7]やLaporate[8]らが相反性抑制を記録するためにヒラメ筋から単シナプス反射を誘発する際に用いている前脛骨筋に種々の時間間隔で条件刺激を加える手法を活用した。条件刺激は，総腓骨神経を腓骨小頭で刺激した際に前脛骨筋にM波が誘発される最小閾値強度とし，刺激時間1 msの矩形波を用いた。試験刺激は，膝窩で脛骨神経を刺激する従来から用いられているH反射の誘発刺激とし，刺激時間1 msの矩形波とした。条件および試験刺激の刺激時間を1 msに設定した理由は，太い求心性神経線維のグループⅠを刺激するためには通常0.5～1.0 msの持続時間が長い方が有効であると一般的に考えられているためである[9)10)]（図1）。尚，いずれも0.2 Hzの刺激頻度とした。条件刺激および試験刺激の2チャンネル刺激装置は，日本光電社製Neuropack Σでコンピュータ制御した。誘発されたH反射は筋電図増幅アンプを経由し，A/D変換した後に前述のコンピュータで保存・処理をした。また，ヒラメ筋H反射の記録電極は径1 cmで，ヒラメ筋遠位に電極間距離2 cmで貼付した。条件刺激による最小刺激閾値のM波導出を確認するための記録電極は前脛骨筋中央とし，電極間距離2 cmで貼付した。

条件刺激と試験刺激の入力部位は脊髄からほぼ等距離であるが，条件刺激のインパルスが，Ia介在ニューロンを経由してヒラメ筋のα運動ニューロンに到達する時

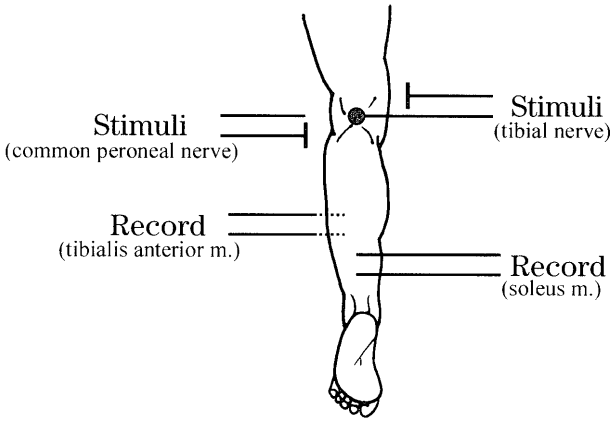

図1　条件刺激を加えたヒラメ筋H反射測定の刺激電極と筋電図電極の位置

NII-Electronic Library Service

Japanese Physical Therapy Association

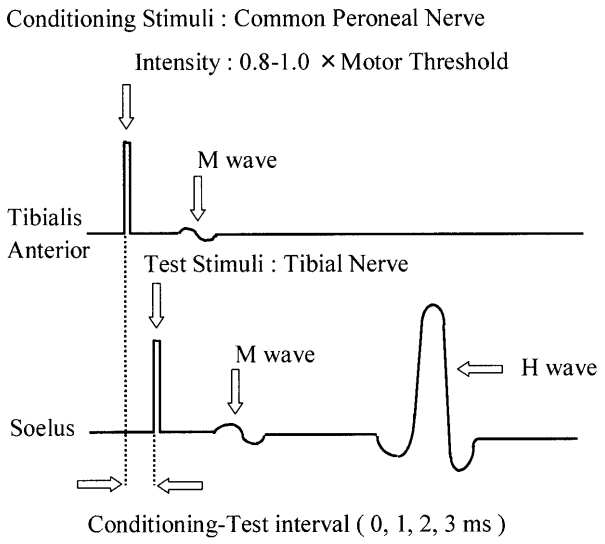

図2　条件刺激を加えたヒラメ筋H反射の測定方法

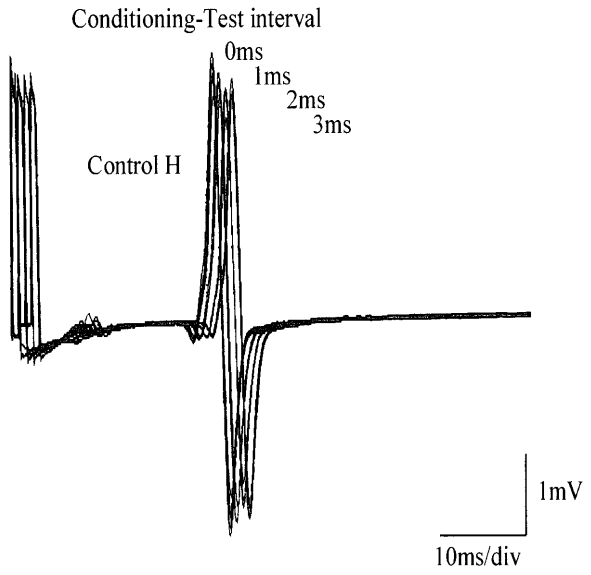

図3　条件刺激を加えたヒラメ筋H反射の波形

間は，Ia介在ニューロンの発火遅延などインパルスが経由する回路によって異なるため，条件と試験刺激の時間間隔（Conditioning-Test Interval; CTI）は0，1，2，3 msに設定した（図2）。

抑制効果の判定は，条件刺激なし時のH反射振幅（Control H; Cont. H）を基準として，CTI 0，1，2，3 msでの条件刺激を加えたときのH反射振幅（Conditioned H; Cond. H）をCont. Hで除した比率を抑制の指標とした。すなわち，Cont. Hに対するCond. Hの振幅比率（Conditioned H reflex per Control H reflex; Cond. H / Cont. H）が1.0以下であれば，条件刺激としての総腓骨神経刺激によってH反射に抑制が出現したものとし，H反射振幅比率が1.0以上であれば，H反射の抑制は生じないものと解釈した。試行手続きは，Cont. Hと，CTI 0，1，2，3 msのCond. Hをそれぞれ3回試行測定した。図3は，ヒラメ筋H反射の波形をCTIごとに重ね合わせたものであり，時間間隔が延びるに連れてH反射振幅が低下している例である。

筋力測定は，足関節の角速度を30～120の30 deg/secごとの10回平均の底背屈運動ピークトルク値とした。測定は3週間ごととし，実験課題の運動と同一肢位とし，H反射による相反性抑制効果の測定と同一日にした。なお，筋の緊張や筋疲労などを考慮し，ピークトルク値測定の2時間前にH反射による抑制効果を測定した。

分析方法は，有意水準5%とし，運動の期間ごとによるCond. H / Cont. HとCTI，同様にピークトルク値と角速度の関係をそれぞれ1元配置分散分析（ANOVA）で統計処理し，FisherのPSLDによる多重比較の検定を実施した。また，測定期間ごとのCond. H / Cont. Hの群間差については，unpaired t-testを用いた。

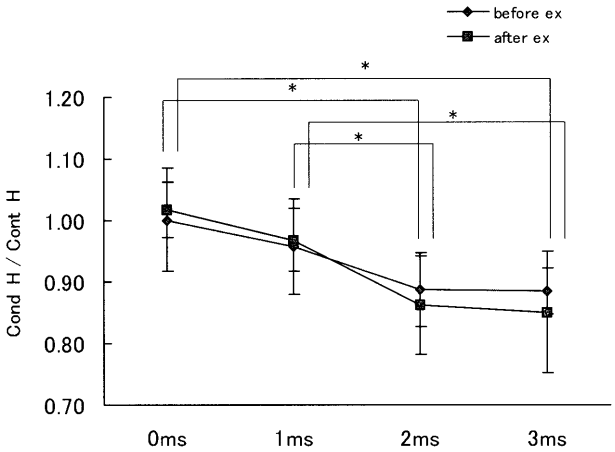

図4　1回の運動前後の各CTI変化（例：角速度60 deg/sec）
N = 5　＊p < 0.05.

結　　果

運動課題前のCond. H / Cont. Hは，CTI 2と3 msで低下を示し，CTI 0との間で有意差（df：3，F値：3.62，p値：0.036）がみられた。同様に，運動の後においてもCTI 0や1 msとの間でそれぞれ有意差（df：3，F値：6.35，p値：0.005）があり，三和[11]，Tanaka[12)13)]やCrone[14]らが相反性抑制は維持されることを報告したのと一致していた。しかしながら，運動の前後においてCond. H / Cont. Hに明らかな差がなく，相反性抑制は1回の運動で変化しないことを確認できた。図4は，角速度60 deg/secでの運動課題前後のCTI変化を示したが，角速度120 deg/secでも同様の結果であった。

角速度60 deg/sec群の運動開始前および3週ごとのCTI 0～3 msに対するCond. H / Cont. Hでは，運動開始前および3週ごとでCTI 2と3 msがCTI 0および1 msに比較してそれぞれ低下を示し，有意差（p < 0.05）

NII-Electronic Library Service

Japanese Physical Therapy Association

表1 60 deg/sec群と120 deg/sec群の測定期間と条件－試験刺激間隔との関係

	0 ms		1 ms		2 ms		3 ms		F値	p値
	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D		
60 deg/sec群										
before	1.005	0.023	1.004	0.032	0.954	0.030	0.945	0.025	6.708	0.004
after 3 weeks	1.002	0.034	1.006	0.046	0.942	0.031	0.936	0.052	4.108	0.024
after 6 weeks	0.990	0.040	1.000	0.045	0.922	0.051	0.912	0.047	4.833	0.014
after 9 weeks	1.012	0.031	0.995	0.036	0.932	0.046	0.929	0.019	7.737	0.002
120 deg/sec群										
before	1.014	0.033	1.007	0.058	0.929	0.056	0.953	0.048	3.440	0.042
after 3 weeks	1.002	0.035	0.985	0.053	0.906	0.043	0.926	0.059	4.535	0.018
after 6 weeks	0.983	0.044	0.995	0.031	0.936	0.054	0.898	0.073	3.608	0.037
after 9 weeks	1.028	0.036	0.973	0.061	0.946	0.067	0.898	0.091	3.326	0.046

＊：$p < 0.05$，N = 5.

がみられた（表1）。相反性抑制は，継続的な運動を行っても抑制量の推移パターンの変化しないことを確認できた。

運動開始前および3週ごとの経時的変化に対するCond. H / Cont. Hでは，CTIごとで明らかな差（df：9，F値：0.50，p値：0.861）がみられなかった。しかしながら，CTI 2と3 msで3週後よりCond. H / Cont. Hが低下する傾向がみられ，6週後以降に変化はみられなかった（図5）。

足関節の背屈運動のピークトルク値は，9週間を通じてピークトルク値に変化がみられなかった。しかしながら，底屈運動のピークトルク値は，3週後に高い値を示し，60 deg/secと90 deg/secで6週後との間に有意差（$p < 0.05$）がみられたが，6週後は低下しており，同様に9週後も低い値であった（表2）。

一方，角速度120 deg/sec群では，運動開始前および3週ごとのCTI 0～3 msに対するCond. H / Cont. Hでは，3週後よりCTI 2や3 msがCTI 0および1 msに比較してそれぞれ低下を示していた。特に，CTI 3 msが運動開始前に比べて3週後より明らかに低下を示し，3週後でCTI 0と2 ms，3 msとの間にそれぞれ有意差（$p < 0.05$）がみられ，またCTI 1と2 msの間でも有意差（$p < 0.05$）が認められた。6週後においては，CTI 0と3 ms，CTI 1と3 msのそれぞれの間に有意差（$p < 0.05$）がみられた。更に，9週後でもCTI 0と3 msに有意差（$p < 0.05$）がみられた（表1）。運動速度が違っていても，相反性抑制は，角速度60 deg/sec群と同様に抑制量の変化しないことを確認できた。

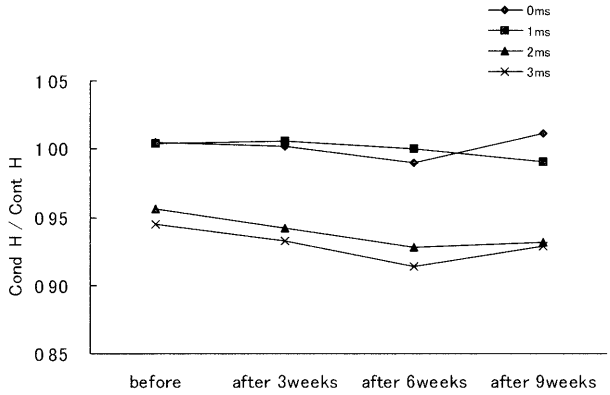

図5 測定期間ごとのCond. H / Cont. H変化（60 deg/sec群）
N = 5，df：9 F値：0.505，p値：0.861.

運動開始前および3週ごとの経時的変化に対するCond. H / Cont. Hでは，CTIごとで明らかな差（df：9，F値：1.28，p値：0.283）がみられなかった。しかしながら，角速度60 deg/sec群と同様に，Cond. H / Cont. HがCTI 3 msで3週後より低下がみられ，6週後

NII-Electronic Library Service

Japanese Physical Therapy Association

表2 60 deg/sec 群の測定期間ごとのピークトルク値変化

	before		after 3 weeks		after 6 weeks		after 9 weeks		F値	p値
	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.		
Dorsiflexion										
30	22.00	4.64	24.75	6.30	21.25	8.44	25.50	6.02	0.51	0.68
60	13.75	1.79	16.25	4.09	15.00	6.60	16.75	4.02	0.45	0.72
90	9.75	2.39	12.25	4.09	12.00	4.12	13.00	3.54	0.76	0.54
120	8.75	1.48	10.25	2.77	10.75	5.36	10.50	2.69	0.35	0.79
Planterflexion										
30	55.00	11.25	66.50	25.39	53.25	22.57	57.50	9.10	0.51	0.68
60	37.75	12.34	50.00	16.03	33.25	9.73	40.50	10.69	1.62	0.22
90	30.00	13.91	41.25	7.24	25.75	11.19	33.25	11.71	1.69	0.21
				*						
120	30.00	10.08	40.25	7.40	27.75	14.36	29.75	10.28	1.36	0.29
				*						

単位：N/m，＊：$p < 0.05$，N = 5.

と9週後ではほぼ一定の値を示していた（図6）。

足関節の背屈運動のピークトルク値は，運動開始前に比べて9週後の90 deg/secで高い値（$p < 0.05$）を示した。しかしながら，運動課題である120 deg/secにおいて運動開始前および3週ごとで有意差がなく，運動の効果は認められなかった。同様に底屈運動のピークトルク値は，6週後の30 deg/secで高い傾向がみられるものの，明らかな差は認められなかった。また，60～120 deg/secにわたって測定期間ごとのピークトルク値に差がみられず，等速性筋収縮による運動の効果は認められなかった（表3）。

次に，角速度60 deg/secと120 deg/sec群の運動開始および3週ごとの差を比較すると，運動開始前と3週後では120 deg/sec群のCTI 2 msは有意に低（$p < 0.05$）かった。しかしながら，6週後でも両群のCTIごとのCond. H / Cont. Hは，運動開始前や3週後よりも全般的に低下していたが，群間差は認められなかった。また，9週後においてもCTIごとのCond. H / Cont. Hは同様の傾向がみられた（図7～10）。

考　　察

運動課題の前後におけるCTI 2と3 msのCond. H / Cont. Hは，CTI 0や1 msとの間でそれぞれ有意差（$p < 0.05$）がみられ，Tanaka[12)13)]をはじめ諸家[14-16)]

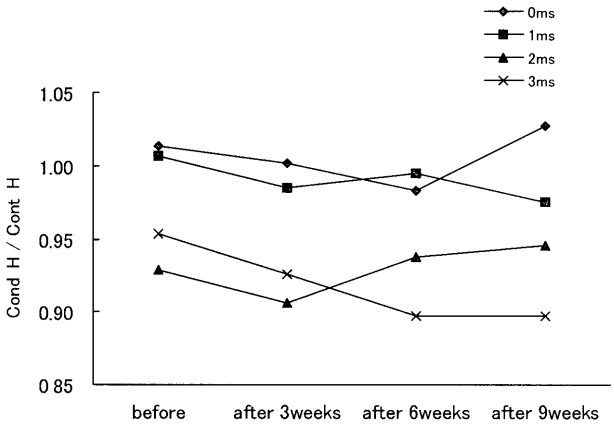

図6 測定期間ごとのCond. H / Cont. H変化（120 deg/sec群）
N = 5，df：9　F値：1.28，p値：0.283.

表3 120 deg/sec 群の測定期間ごとのピークトルク値変化

	before		after 3 weeks		after 6 weeks		after 9 weeks		F値	p値
	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.		
Dorsiflexion										
30	11.00	3.39	12.40	2.61	12.00	3.36	11.60	3.36	0.18	0.91
60	6.40	1.34	5.80	1.64	6.40	1.95	7.80	3.27	0.76	0.53
90	5.00	1.23	3.80	2.28	4.40	2.07	6.80	2.68	1.85	0.18
				*						
120	4.80	1.30	4.00	1.00	4.80	1.92	5.00	2.24	0.35	0.79
Planterflexion										
30	31.80	14.41	27.60	11.24	35.80	8.67	29.20	8.87	0.53	0.67
60	26.60	12.76	25.60	10.99	25.00	10.49	25.40	9.56	0.02	1.00
90	23.20	12.67	22.80	10.80	23.60	8.79	21.80	6.72	0.03	0.99
120	20.40	10.55	22.40	11.72	22.00	8.09	18.40	8.65	0.17	0.92

単位：N/m，＊：$p < 0.05$，N = 5.

NII-Electronic Library Service

Japanese Physical Therapy Association

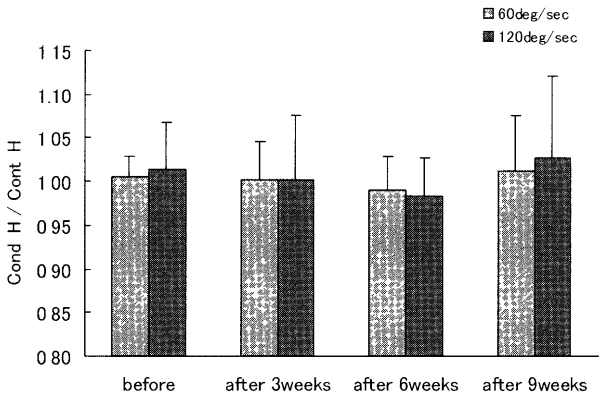

図7 CTI 0 msにおける測定期間ごとの2群間比較

図8 CTI 1 msにおける測定期間ごとの2群間比較

図9 CTI 2 msにおける測定期間ごとの2群間比較
＊：$p < 0.05$.

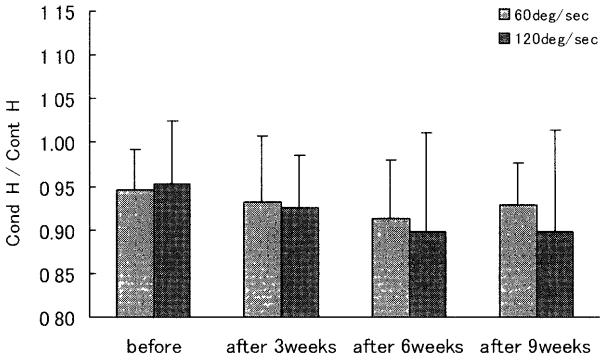

図10 CTI 3 msにおける測定期間ごとの2群間比較

らが報告している求心性Ia神経線維と拮抗筋に対する抑制性Ia介在ニューロンからなる相反性Ia抑制が考えられた。また，運動の前後におけるCTIごとのCond. H / Cont. Hに有意差がなく，相反性Ia抑制は1回の運動で変化の起きないことも明らかになった。加えて，運動開始前のCTI 2と3 msのCond. H / Cont. Hの低下が3週以降もみられ，相反性Ia抑制が維持されることが明らかとなった。これまで運動療法に対する相反性抑制の経時的な研究がないことより，本研究の相反性抑制の手法は，運動の効果を定量的に測定する指標の1つとして活用できるものと考えられる。

CTIごとのCond. H / Cont. Hでは，角速度60 deg/sec群で運動開始前に比較して6週後以降のCTI 2と3 msが低下する傾向を示し，抑制の経時的変化がみられた。同様に，120 deg/sec群でCTI 3 msの6週後以降では抑制効果の経時的変化がみられた。

この主な原因は，運動を継続することで，上位運動中枢から皮質脊髄路を経由するインパルスが，拮抗筋α運動ニューロンへの抑制量を漸増したことや，抑制性Ia介在ニューロンの興奮性を効果的に高めたことも考えられた（図11）。しかしながら，γ運動ニューロン（γmotoneurone）などのα-γlinkageに関した上位運動ニューロンからの影響や脊髄髄節レベルでのレンショウ細胞（Renshaw cells）による反回抑制（recurrent inhibition）の働きも無視できないものと思われる[17)18)]。また，CTI 3 msでCond. H / Cont. Hの低下がみられたのは，本研究の誘発刺激閾値が1.0 × motor thresholdで，しかも刺激時間が1msであることと，Pierrot-Deseillingny[19-22)]らの報告にもあるようにIb介在ニューロンによる抑制も影響していると考えられた。特に，Ib抑制は2つの介在ニューロンを介する3シナプス抑制（trisynaptic inhibition）であり，Ia介在ニューロンによる2シナプス抑制（disynaptic inhibition）よりも遅れて発火するシナプス遅延の特徴がある。このため，CTI 3 msのCond. H / Cont. Hが低下しているものと考えられた（図12）。

いずれにしても，角速度60 deg/secと120 deg/secの両群で運動開始から6週後でCTI 3 msを中心にCond. H / Cont. Hが低下し，抑制が高まるものと考えられた。つまり，6週前後の運動によって脊髄反射結合が成熟することを意味し，運動が中枢神経系の反射回路を促通する目安になるものと考えられた。

また，運動開始と3週ごとの等速性運動のピークトルク値変化は，角速度60 deg/secと120 deg/secの両群とも変化がみられず，筋力の改善は認められなかった。この原因は，1日10～15分間の運動時間で，運動量も多くないことが考えられた。

NII-Electronic Library Service

Japanese Physical Therapy Association

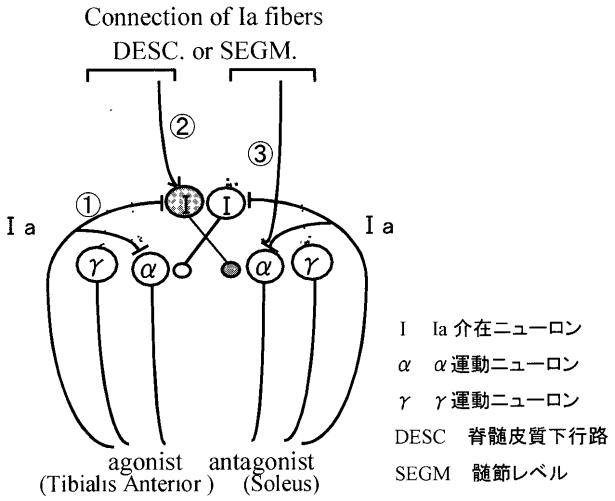

図11 等速性運動による相反抑制が変化する要因
①求心性Ia線維から抑制性Ia介在ニューロンを活性する．②上位中枢から抑制性Ia介在ニューロンを活性する．③上位中枢から拮抗筋α運動ニューロンに抑制性後シナプス活動電位が発生する．①～③のいずれも相反性抑制に影響している．本研究の実験より，求心性Ia線維からのインパルス量が大きくなり，抑制性Ia介在ニューロンが拮抗筋α運動ニューロンに働く．

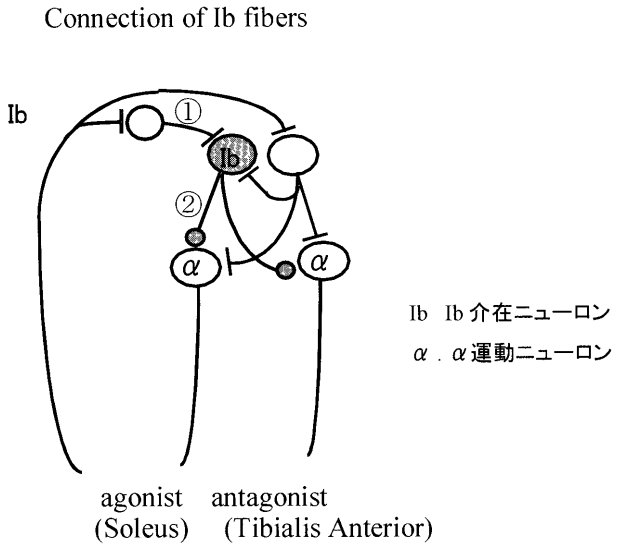

図12 等速性運動による相反抑制が変化する要因
①求心性Ib線維からIb介在ニューロンの間にニューロンが存在する．シナプス弓が3シナプス性抑制を形成するため，CTI 3 msからIb抑制が働く．
②Ib介在ニューロンは両側のα運動ニューロンを抑制する．相対的に拮抗筋よりも主動筋に強く働く．

これらを考え併せると，筋出力が改善するよりも前に脊髄反射機構内の抑制性Ia介在ニューロンの興奮性が高まり，拮抗筋α運動ニューロンに抑制性シナプス後電位（Inhibitory postsynaptic potentials; IPSPs）を発生するものと考えられる[23]。また，Ib介在ニューロンが促通され，Ｉｂ抑制が出現することも考えられる。

したがって，拮抗筋への効率的な抑制は，上位運動ニューロンの相反性反射結合が発達することによって，相対的に主動筋のmotor unitのrecruitmentを高め，更に筋線維の直径を太くしていき，緩徐に筋出力を改善させていくものと考えられた。

次に，角速度60 deg/secと120 deg/sec群の測定期間ごとのCond. H / Cont. H差は，6週後より全体的に低下を示していたが，両群間に明らかな差がみられなかった。9週後でも同様の結果を示していた。両群間に差が現れなかった理由は，角速度60 deg/secと120 deg/secの課題の運動速度が異なるにも関わらず，訓練頻度や期間が10回10セット，セットごとの休息時間30秒，週5回と，両群とも9週間継続したことが原因の1つとして考えられる。

つまり，求心性Ia神経線維を経由するインパルス発射頻度は，異なった運動負荷量に応じた筋出力変化と相関するものと考えられるが，Kottke[24]が報告しているように運動回数や頻度など運動量によって規定される可能性も否定できないと考えられた。

以上のことをまとめると，運動開始前の相反性抑制は6週後以降に両群で高まる傾向がみられ，運動開始後の6週間前後で2シナプス性相反抑制が増加する可能性が考えられた。加えて，足関節底背屈のピークトルク値は測定期間中に変化がみられなかったものの，相反性抑制効率が高くなることから，脊髄反射機構内の変化と相まって筋出力が改善していく可能性が推察される。

今後の課題として，等張性や等尺性筋収縮を用いた筋力強化運動や，低負荷で運動頻度が比較的高く行われる筋耐久性運動などの臨床の場で多く用いられている運動療法が，相反性反射結合の成熟性などの観点からみて，どのように中枢神経系へ効果を及ぼすのか研究を進めて行きたい。具体的な研究方法は，磁気誘発電位とH反射測定の同時刺激から皮質脊髄路下行インパルスの量的変化を捉えて行くことである。つまり，上位中枢の下行インパルスの量的変化を捉えることで，抑制性障害やその障害構造の解明に有益な手段となり得るものと考えられ，検討を重ねていきたい。

なお，本論文は，平成11年度および平成12年度科学研究費補助金（奨励研究（B））による作成であることを付記する。

参考文献

1) Hoffman P: Beitrage zur Kenntnis der menschlichen: Reflexe mit besonderer Berucksichtigung der elektrischen Erscheinungen. Arch F Physiol 1910, pp223-256.
2) Magladery JW, Teasdal RD, Park AM, *et al.*: Electrophysiological studies of reflex activity in patients with lesions of the nervous system. I. A comparison of spinal motoneurone excitability following afferent nerve volleys in normal persons and patients with upper motor neurone lesions. Bull Johns Hopkins Hosp 91: 219-243,

NII-Electronic Library Service

Japanese Physical Therapy Association

1952.
3) 田中勵作：随意運動制御の脊髄神経機構—筋電図学的解析—．神経科学レビュー 3: 61-91, 1989.
4) Hultborn H, Illert M, Santini M, *et al.*: Convergence on interneurones mediating the reciprocal Ia inhibition of motoneurones. I. Disynaptic inhibition of Ia inhibitory interneurones. Acta Physiol Scand 96: 193-201, 1976.
5) Shin J: Nerve Conduction Techniques. Clinical Electromyography: Nerve Conduction Studies. University Park Press., Baltimore, 1984, pp47-64.
6) 三和真人：痙性片麻痺患者の歩行時の相反神経抑制に関する研究．慶應義塾大学学事振興資金研究報告集録 229: 177, 1998.
7) Lloyd DPC: Conduction and synaptic transmission of reflex response to stretch in spinal cats. J Neurophysiol 6: 317-326, 1943.
8) Laporate Y, Lloyd DPC: Nature and significance of the connection established by large afferent fibers of muscular origin. Am J Physiol 169: 609-621, 1952.
9) Eccles RM, Lundberg A: Synaptic actions in motoneurones by afferents which may evoke the flexion reflex. Arch Ital Biol 97: 199-221, 1959
10) Hongo T, Jankowska E, Lundberg A. The rubrospinal tract. II. Facilitation of interneuronal transmission in reflex paths to motoneurones. Exp Brain Res 7: 356-391, 1969.
11) 三和真人：等速性筋収縮における相反性神経結合の成熟の研究．東京保健科学学会誌 1: 79-86, 1998.
12) Tanaka R: Reciprocal Ia inhibition during voluntary movement in man. Exp Brain Res 21. 529-540, 1974.
13) Tanaka R: Reciprocal Ia inhibition and voluntary movements in man. Prog Brain Res 44: 291-302, 1976.
14) Crone C, Hultborn H, Jespersen B: Reciprocal Ia inhibition from the peroneal nerve to soleus motoneurons with special reference to the size of the reflex. Exp Brain Res 59: 418-422, 1985.
15) Crone C, Hultborn H, Jespersen B, *et al.*: Reciprocal Ia inhibition between ankle flexors and extensors in man. J Physiol 389: 163-185, 1987.
16) Okuma Y, Lee RG: Reciprocal inhibition in hemiplegia: correlation with clinical features and recovery. Can J Neurol Sci 23 15-23, 1996.
17) Shindo M, Harayama H, Kondo K, *et al.*: Changes in reciprocal Ia inhibition during voluntary contraction in man. Exp Brain Res 53: 400-408, 1986.
18) Hultborn H, Meunier S, Pierrot-Deseilligny E, *et al.*: Changes in presynaptic inhibition of Ia fibers at the onset of voluntary contraction in man. J Physiol 389: 757-772, 1987.
19) Pierrot-Deseilligny E: Control transmission in Ib reflex pathways during movement in man Acta Physiol Scand 508: 44, 1982.
20) Pierrot-Deseilligny E, Bergego C, Katz R. Reversal in cutaneous control of Ib pathways during human voluntary contraction. Brain Res 233: 400-403, 1982.
21) Pierrot-Deseilligny E, Bergego C, Katz R, *et al.*: Cutaneous depression of Ib reflex pathways to motoneurons in man. Exp Brain Res 166: 176-179, 1979.
22) Hultborn H, Meunier S, Morin C, *et al.*. Assessing changes in presynaptic inhibition of Ia fibers: A study in man and cat. J Physiol 389: 729-756, 1987.
23) Kandel R, Siegelbaum A: Excitatory and inhibition signals are integrated into a single response by the cell. Chap.12 Synaptic integration. In: Kendal R, Schwartz H, Jessell M, (eds) Principles of Neural Science. 4th ed, McGraw-Hill, New York, 2000, pp222-228.
24) Kottke FJ: From reflex to skill the training of coordination. Arch Phys Med Rehabil 61: 551-561, 1980.

NII-Electronic Library Service

Japanese Physical Therapy Association

〈**Abstract**〉

Effects of Isokinetic Exercise for Reciprocal Inhibitory Conjunction on Spinal Organization

Makoto MIWA, RPT, MA, PhD
Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Yamagata Health Sciences University

Reciprocal inhibition in animal has been studied during voluntary movement of ankle joint or at rest, and lately in man. But there is not any research to investigate the relationship between muscle strength exercise and plasticity of upper motoneurones in our physical therapy. In addition, a physical therapist has not studied the effects of therapeutic exercise with the viewpoint of central nervous system. We therefore investigated the reciprocal inhibitory conjunctions of afferent Ia fiber and inhibitory Ia interneurone to muscle strength exercise. Ten young adult subjects were given informed consent, and were divided into two speed groups of isokinetic motion. The subjects were fixed on supine with hip and knee flexions at 45 and 90 degrees respectively, and they were asked to move ankle joint rapidly with 60 and 120 deg/sec and to take 10 sets once a day by Cybex machine 6000. Soleus H-reflex and peak torque among 30, 60, 90 and 120 deg/sec were examined four times every 3 weeks. Soleus H-reflex was evoked by electrical stimulation of the tibialis nerve in the popliteal fossa. The reflex was conditioned by electrical stimulation of the common peroneal nerve at caput fibulae. The effects of reciprocal inhibition were calculated as percentage reduction of the test H reflex amplitude to the control H reflex at rest. Statistical comparisons were made using ANOVA and unpaired t-test, and then probability values less than 0.05 were considered significant. A reduce of the soleus H-reflex amplitude attributable to reciprocal inhibition was seen at conditioning test interval 2 and 3 ms in two groups, and there were significant differences ($p < 0.05$) before and 6 weeks as well as 9 weeks after trainig. In addition, there were significant differences among conditioning test interval 0 and 2, 3 ms before and 6 weeks as well as 9 weeks after training. However, there was no improvement in muscle power in both groups throughout the 9-week experimental period, showing no increase in the peak torque.

We have found that the reciprocal inhibitory conjunction is changed in Spinal Neural Network by therapeutic exercise. That is, as soon as muscle strength had improved, it was thought that the any circuits of reciprocal inhibition might be made. It was considered important for the maturation of reciprocal inhibition to continue physical therapy. Further investigations are necessary to examine the relationship between the effects of physical therapy and functional changes in the neurological organization, such as reciprocal inhibitory conjunctions.

NII-Electronic Library Service