



Tokyo Gakugei University Repository

東京学芸大学リポジトリ

<http://ir.u-gakugei.ac.jp/>

Title	歩行運動中の肢間協調運動に関わる神経機序の解明(全文の要約)
Author(s)	鈴木,伸弥
Citation	
Issue Date	2015-03-17
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2309/139052">http://hdl.handle.net/2309/139052</a>
Publisher	
Rights	

氏名 鈴木伸弥

題目 歩行運動中の肢間協調運動に関わる神経機序の解明

要約

歩行運動に代表される四肢・体幹の協調的な身体運動は日常生活の根幹をなすものである。しかしながら、ヒトの歩行時における四肢・体幹の協調的な運動を制御する神経基盤、肢間協調運動技能の習熟・獲得に関連した神経系の可塑性動態、あるいは中枢神経障害後の歩行運動技能の回復を促進する機序については、未だ不明な点が多く残されている。本研究では、ヒトの二足歩行運動時における四肢・体幹の協調運動制御に関与すると考えられる四肢間の反射性制御機構に着目し、それら機構の機能の一端を明らかにすることが目的である。本研究の成果により、四肢・体幹の協調運動技能の獲得・習熟に関わる感覚-運動系の発達メカニズムあるいは中枢神経系障害後の機能回復メカニズムの解明につなげることができれば、幼児教育や初等中等教育のみならず、障害児教育あるいはリハビリテーション現場においても、歩行運動時の四肢・体幹の協調運動を制御する感覚-運動系の変容を促進させるような運動介入手法やトレーニング手法の開発ならびに科学的根拠に基づいた効果的な運動介入指針を示すことができると考えられる。

本博士論文では、第1章において研究の背景と個別の研究課題と実験で用いた生理学的指標に関する先行研究の検討を行った。第2章では、本論文の目的を明示するとともに、研究仮説と研究課題を提示した。すなわち、歩行運動時において、反射を誘発する筋群から見て遠位に存在する肢からの感覚入力が下肢筋や体幹筋群の反射活動の修飾に機能的な貢献をするという仮説から、具体的に、4つの研究課題（研究課題1：交叉性反射の歩行位相依存性、研究課題2：交叉性反射の運動課題依存性、研究課題3：四肢間反射の刺激肢依存性、研究課題4：立位時ならびに歩行時における足部皮膚神経から体幹筋に対する皮膚反射の動態）を設定した。

第3章では、研究課題1の検討を行った。健常被験者を対象とした。右ヒラメ筋の表面筋電図を記録し、試験刺激として右膝窩部後脛骨神経に電気刺激（矩形波、持続時間1ミリ秒、単発）を行うことにより、Hoffmann反射（H反射）を誘発した。試験刺激は、トレッドミル歩行中（4 km/h）、異なる5つの位相（1歩行周期の10, 30, 50, 70, 90%）において行った。試験刺激強度は、立位で測定された最大H反射の約50%振幅のH反射が誘発される強度とし、このときに誘発されるM波の振幅が歩行位相間で一定になるように調節した。条件刺激として、左足関節部における浅腓骨神経の電気刺激（幅1ミリ秒の5連発矩形パルス、パルス間3ミリ秒）を、試験刺激に約100ミリ秒先行して行った。条件刺激強度は知覚閾値の2倍とした。対照試行および条件付け試行におけるH反射の頂点間振幅を比較することで、条件刺激効果を判定した。さらに、M波振幅、刺激前背景筋電図量、条件刺激単独による全波整流筋電図への反射効果を解析した。対照試行におけるH反射ならびにM波の振幅は、各位相で測定された最大M波振幅で除して正規化した。トレッドミル歩行中において、ヒラメ筋のH反射に対する対側足部皮膚神経の条件刺激効

果は、1歩行周期を100%とした場合、初期の10%では抑制、中期の50%では促通を示した。その他の位相では有意な条件刺激効果は認められなかった。単独の条件刺激を行った場合、ヒラメ筋の全波整流筋電図に対する効果は、条件間で有意差は認められなかった。これらの結果から、対側足部皮膚神経からヒラメ筋のH反射経路に対する反射効果は歩行周期依存的に逆転することが示唆された。

第4章では、研究課題2の検討を行った。健常被験者を対象とした。右ヒラメ筋の表面筋電図を記録し、試験刺激として右膝窩部後脛骨神経に電気刺激（矩形波、持続時間1ミリ秒、単発）を行うことにより、H反射を誘発した。試験刺激は、トレッドミル歩行（4 km/h）の立脚相初期（1歩行周期の約10%）および静止立位保持中に行った。試験刺激強度は、誘発される対照H反射の振幅が最大M波振幅の10~30%となるように調節した。条件刺激として、左足関節部における浅腓骨神経の電気刺激（幅1ミリ秒の5連発矩形パルス、パルス間3ミリ秒）を、試験刺激に約100ミリ秒先行して行った。条件刺激強度は、ヒラメ筋の筋電図に反応が生じる閾値強度（知覚閾値の1.6~2.4倍）に設定した。ヒラメ筋H反射のピーク間振幅を、条件刺激の有無および課題間で比較した。ヒラメ筋H反射に対する対側足部皮膚神経の条件刺激効果は、立位保持時には促通、歩行の立脚相初期では抑制を示した。これらの結果から、対側足部皮膚神経からヒラメ筋のH反射経路に対する反射効果は、運動課題依存的に逆転することが示唆された。

第5章では、研究課題3の検討を行った。健常被験者を対象とした。右ヒラメ筋の表面筋電図を記録し、試験刺激として右膝窩部後脛骨神経に電気刺激（矩形波、持続時間1ミリ秒、単発）を行うことにより、H反射を誘発した。試験刺激は、トレッドミル歩行（4 km/h）の立脚相初期（1歩行周期の約10%）および静止立位保持中に行った。試験刺激強度は、誘発される対照H反射の振幅が最大M波振幅の10~30%となるように調節した。条件刺激として、筋電図記録側と対側の浅腓骨神経、同側の橈骨神経浅枝、対側の橈骨神経浅枝に対する電気刺激（幅1ミリ秒の5連発矩形パルス、パルス間3ミリ秒）を行った。条件刺激強度は、知覚閾値の2.0倍とした。歩行運動の立脚相初期において、対側足部、同側手指、対側手指を支配する皮膚神経への条件刺激を行った場合、ヒラメ筋のH反射の振幅は有意に減少した。この効果は、同側手指皮膚神経刺激あるいは対側手指皮膚神経刺激を行った場合に比べ、対側足部皮膚神経刺激の場合で最も顕著であった。一方、立位保持中に同様の条件刺激効果を検討した結果、条件刺激によりヒラメ筋のH反射の振幅は有意に増大した。さらに、条件刺激効果の量は刺激神経間で同等であった。これらの結果から、遠隔肢皮膚神経からヒラメ筋のH反射経路に対する反射効果は課題依存的であり、歩行運動中には刺激肢特異的であることが示唆された。

第6章では、研究課題4の検討を行った。健常成人を対象とした。左の僧帽筋上部（TRAP）、腰部脊柱起立筋（ES）、腹直筋（RA）から表面筋電図を記録した。被験者は、トレッドミル歩行（4 km/h）および立位での各筋の等尺性収縮（最大随意収縮時筋電図量の1-50%の範囲で3-5段階）を行った。各課題中、2~3秒間隔で左の腓腹神経（外果部）に電気刺激（幅1ミリ秒の5連発矩形パルス、パルス間3ミリ秒、知覚閾値の2.5倍）を

行い、皮膚反射を誘発した。各歩行位相における背景筋電図量ならびに皮膚反射の振幅を比較した。さらに、BGEMGと反射振幅との単回帰分析により、回帰直線の傾きならびに切片を比較した。歩行中、全被験筋で促通性の皮膚反射が得られた（頂点潜時66～76ミリ秒）。TRAPおよびRAでは立脚中期および遊脚中期において、ESでは立脚初期および後期において、皮膚反射の振幅が増加した。歩行時における背景筋電図量と反射振幅との回帰直線の傾きは、立位時より有意に高値を示した。背景筋電図量によって正規化した皮膚反射の振幅は、立位保持時に比べ、歩行運動時の方が有意に高値を示した。これらの結果から、足部皮膚神経から体幹筋群に対する反射効果は、歩行位相依存性ならびに運動課題依存性を示すことが示唆された。

第7章では、個別の研究課題をまとめ、総合考察を行った。各研究課題における成果から、歩行時における遠隔肢皮膚神経からヒラメ筋のH反射に対する反射効果は、歩行位相、運動課題、刺激肢に依存して柔軟に修飾されることが明らかになった。本研究において、単独の遠隔肢皮膚神経によって、ヒラメ筋の筋電図の変化がみられなかったことから、遠隔肢皮膚神経刺激によるシナプス後効果（運動ニューロンプールの興奮性変化）が少ない可能性が示唆される。この知見から、対側足部、同側手指および対側手指由来の皮膚神経入力、運動ニューロンへのシナプス後効果以外の要素、おそらくIa線維終末のシナプス前抑制を制御することによって、H反射の振幅を変化させると考えられる。また、足部皮膚神経から体幹筋群に対する反射効果においても同様の現象（歩行位相依存性、運動課題依存性）が観察された。さらに、歩行運動時において、筋特異的な皮膚反射動態が見られたことから、歩行運動時における体幹筋群の皮膚反射は、筋により独立した制御を受けている可能性がある。歩行運動時における下肢筋や体幹筋群に対する遠隔肢効果の変化には、歩行中枢由来の脊髄固有路入力、脳幹や大脳皮質などの上位中枢からの脊髄下行路入力、四肢の関節運動や荷重に関連した末梢性感覚フィードバック等が重要な役割を果たすと考えられた。本研究の知見から、皮膚感覚受容器に由来する四肢間の反射機構は、歩行運動中、足部が障害物に接触した際等における左右下肢間での円滑な体重移動調節や直立姿勢制御に関与し、様々な環境に適した巧みな移動行動に貢献する可能性が示唆された。さらに、学校教育現場やリハビリテーション現場、療育現場において、四肢間の反射効果を利用することにより、発育発達過程にある子供や運動障害のある患者の四肢・体幹の運動制御機構を賦活・正常化し、発育促進ならびに運動機能改善に貢献可能であることについて言及した。