

地下空間浸水時の階段避難歩行時の筋電図による危険性評価 RISK EVALUATION ON EVACUATION FROM FLOODED UNDERGROUND BY USING ELECTROMYOGRAPHY

平藤 裕司¹・小谷 賢太郎²・石垣 泰輔³・戸田 圭一⁴
Yuji HIRATO・Kentaro KOTANI・Taisuke ISHIGAKI・Keiichi TODA

The objective of this study was to evaluate the risk of stair-climbing during flooding based on the results of the muscular loads estimated by the lower extremity electromyography obtained during stair-climbing activity. Muscles used in the study were; the rectus femoris, vastus lateralis, long head of the biceps femoris, tibialis anterior, gastrocnemius medialis, and gluteus maximus in their right lower extremity. The water level was set to the range from 0 to 40cm. The first one to three steps from the start of climbing showed the highest muscular loads in all muscles, it was thus concluded that the risk of falling may be higher during climbing these initial steps. The group of subjects performed stair-climbing slower than the other group showed less peak muscle loads, that is, 60%MVC reduction for gastrocnemius medialis, 20%MVC for vastus lateralis, and 30%MVC for gluteus maximus, suggesting that these three muscles played an important role for safe evacuation.

Key Words : urban flood, electromyography, lower limb muscle, evacuation, underground space

1. はじめに

近年, 集中豪雨の増加に伴い都市部での水害による被害が増加してきている。1999 年, 2003 年に福岡, 1999 年に東京, 2000 年に名古屋で水害が発生し, 地下鉄や地下街, ビルの地下室といった地下空間への浸水が多数生じた。特に, 1999 年 6 月に福岡市, 同年 8 月には東京新宿区で発生した水害では, 地下室が浸水し, 中に閉じ込められた人が避難できずに亡くなっている¹⁾。このような都市部での水害は国内にとどまらず, 韓国や中国, 台湾などの東南アジアから, チェコやドイツといったヨーロッパにおいても発生している⁴⁾。韓国においては, 地下空間が多数水没し, 多くの死者を出した³⁾。これらの災害を契機として, 都市型地下水害が注目されるようになった⁴⁾。

そのため, 地下空間浸水時の危険性を把握するための研究が行われている。地下浸水が発生した際は地下空間から地上へ避難することが最重要である⁵⁾。氾濫水が人に及ぼす影響を把握するため, 模型実験では, 地上と地下施設とを連絡する階段を想定した実物大の階段模型を用いて, 階段最上段の水位を変化させた条件の下, 水が流れる階段を人が昇段し避難する実験が行われている^{1), 3), 5)}。その結果, 被験者の歩行速度の変化や歩行時の様子, 被験者の感想から階段最上段の水位 30cm が安全避難限界であると報告している。また, 地下浸水を目的とした研究ではないが, 河川が氾濫したときを想定した水平通路模型を用いた実験では, 水位と流速を変化させた条件の下, 人を歩行させ, 水平通路での歩行が困難になる水位と流速の関係が明らかにされている⁶⁾。これらの実験研究によって地下空間が浸水し地上に避難する際の氾濫水が人に及ぼす危険性の把握がされてきている。

しかし浸水避難時に転倒する危険性の高い階段の位置や歩行動作など, 人の避難行動に関する知見につ

キーワード: 都市水害, 筋電図, 下肢筋, 避難, 地下空間

¹ 非会員 関西大学大学院 工学研究科 システムデザイン専攻

² 非会員 関西大学 システム理工学部 准教授

³ 正会員 関西大学 環境都市工学部 教授

⁴ 正会員 京都大学 防災研究所 教授

いては充分ではない。階段最上段から水深 40cm の氾濫水が流れた場合、階段上を流れる氾濫水の流速や脚にかかる氾濫水の力は、それぞれ流速では最大で流速 5m/s 以上、脚にかかる力は約 1kgf も階段の位置によって異なる⁵⁾。つまり、階段の位置によって氾濫水が人に与える影響が異なり、転倒する危険性が異なるといえる。また、昇段時の筋の使い方によって、転倒の危険性が変わることが予想され、より詳細な浸水避難時の転倒危険性を評価することは、避難対策を行ううえで重要である。

転倒する危険性が高い状態、つまり歩行が不安定な状態にあるとき、下肢筋群は姿勢を維持するための筋活動を示す。例えば、脳梗塞を起こした片麻痺患者や幼児などの不安定な歩行では、身体の重心を維持するために立脚期の前脛骨筋と大腿直筋が、重心を下げるために立脚期の外側広筋が、体幹が前に傾くことにより立脚期の大腿二頭筋がそれぞれ顕著に活動する⁷⁾⁸⁾。立位姿勢時においても、バランスが崩れたときに、足関節を中心とした身体運動を介して質量中心を安定位置に回復させる運動戦略である足関節戦略や、股関節を中心とした運動戦略である股関節戦略を行う際にも、下肢筋群が活動することによって姿勢維持が行われる⁹⁾。これらの姿勢維持のための筋活動は地下浸水避難時の階段昇段においても現れることが予想され、筋活動から転倒危険性を評価することが可能であると考えられる。

そこで、その際の地下浸水を想定した実物大の階段模型を用いて、階段最上段から水量を変えて流し、その際の階段昇段時の下肢筋群の筋電図を計測し、歩行の不安定な状態を示す筋活動から地下浸水避難時の転倒危険性を評価することを目的とする。

2. 方法

(1) 対象

対象者は下肢・体幹に障害が認められなかった健常な男性10名（年齢 22.4 ± 0.7 歳，身長 169.5 ± 5.9 cm，体重 60.1 ± 7.9 kg）とした。対象者全員に対して事前に本研究の主旨を説明し，十分な理解を得た上で本研究への参加の同意を得て実験を行った。

(2) 実験環境

実験に用いた装置の概要を図-1に示す。この装置は実物大の階段模型であり、高水槽と、地上部分を想定した2.5m四方の平坦部、踏み板長さ0.3m、蹴上げ高さ0.15mで20段からなる階段部、地下通路を想定した10mの通路部より構成されている。階段部および通路部の水路幅は1mである。地下空間への浸水を想定し、水を高水槽から平坦部を通り階段を流下させた。

(3) 筋電図の計測方法

被検筋は右側下肢の大腿直筋，外側広筋，大腿二頭筋長頭，前脛骨筋，腓腹筋内側頭，大殿筋の6筋とした。被検筋に電極（NM-512、日本光電）を貼付し、マルチテレメーターシステム（WEB-5000、日本光電）

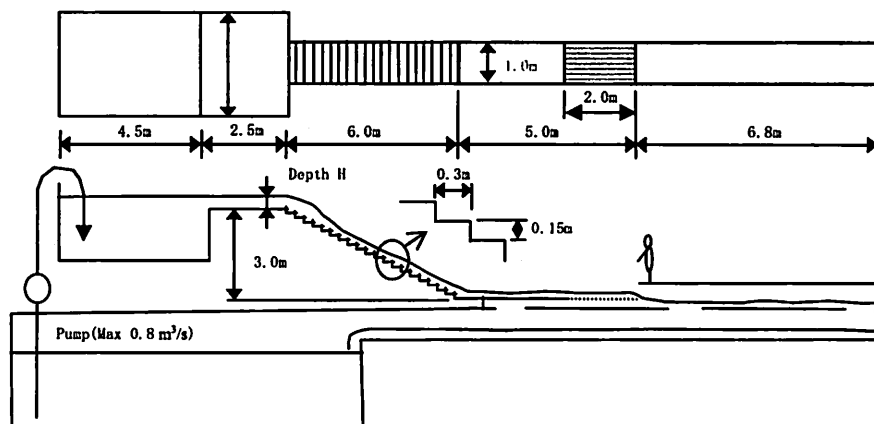


図-1 実物大階段模型

を用いて筋電図を記録した。計測部位を皮膚前処理剤（スキンプュア，日本光電）で角質除去した後，消毒用エタノールで洗浄し，電極を計測部位に貼付した。また，角質除去を行う前に必要に応じて毛の除去を行った。電極を計測部位に貼付した後，電極の上から医療用の防水フィルムで防水加工を施した。アース電極は右側の肘に貼付した。電極はWEB-5000の送信機に接続され，受信機に筋電データを送信し，基礎医学研究システム（LEG-1000，日本光電）を介してパーソナルコンピュータに転送し記録した。時定数を0.03sec，サンプリング周波数を2kHzにそれぞれ設定した。右足の踵が地面に接地するときと，右足のつま先が地面から離れるときを計測するため，右足の踵とつま先にフットスイッチを貼付した。このフットスイッチにより，右足の立脚期と遊脚期の判別を行った。被験者間，筋群間での比較を可能にするために，各筋について最大随意収縮時の筋電図（MVC）を計測した。MVCの計測方法は，実験者が徒手で被験者の力を発揮する方向に対して抵抗を加え，被験者は抵抗に逆らって3秒間の最大等尺性筋力の発揮を各筋についてそれぞれ2回行った。この信号に対し，RMS処理をして平滑化し，平均RMS値の高い方をMVCとして採用した。

(4) 実験方法

歩行条件は階段最上段からの水位（地上水深）を0，10，20，30，40cmの順で変化させ，各条件3回ずつ，被験者に階段を昇段させた。被験者には，通路部を歩き始めて5歩目に階段の下から1段目に右足がつくように歩行してもらった。歩行速度の指定はせず，自由な速度で歩くように教示した。なお，被験者の服装はジーンズとスニーカーを履いた状態で実験を行った。

(5) データ解析

歩行周期はフットスイッチの信号によって右足の踵が地面に着いたときを歩行周期0%，再び右足の踵が地面に着いたときを歩行周期100%として正規化を行った。筋電図の解析は，1試行につき，階段の一番下の段に位置する1～3段目，階段の真ん中に位置する9～11段目，階段の一番上の段に位置する17～19段目の3か所の1歩行周期の筋電図を取り出し，RMS処理で平滑化してMVCをもとにそれぞれ正規化した。各筋の筋電図の波形の処理は，Kato et al.¹¹⁾の解析方法を参考にして，全被験者の1歩行周期のデータから歩行周期4%間隔で%MVC値を取り出して，それぞれ歩行周期4%間隔で歩行条件ごとに加算平均を行った。

3. 結果

(1) 各筋の傾向

図-2に被験者10名の歩行条件別に加算平均した各筋の1歩行周期あたりの筋活動を示す。各筋の歩行周期64%の線は立脚期と遊脚期の境界を示しており，歩行周期0～64%は立脚期，歩行周期64～100%は遊脚期を

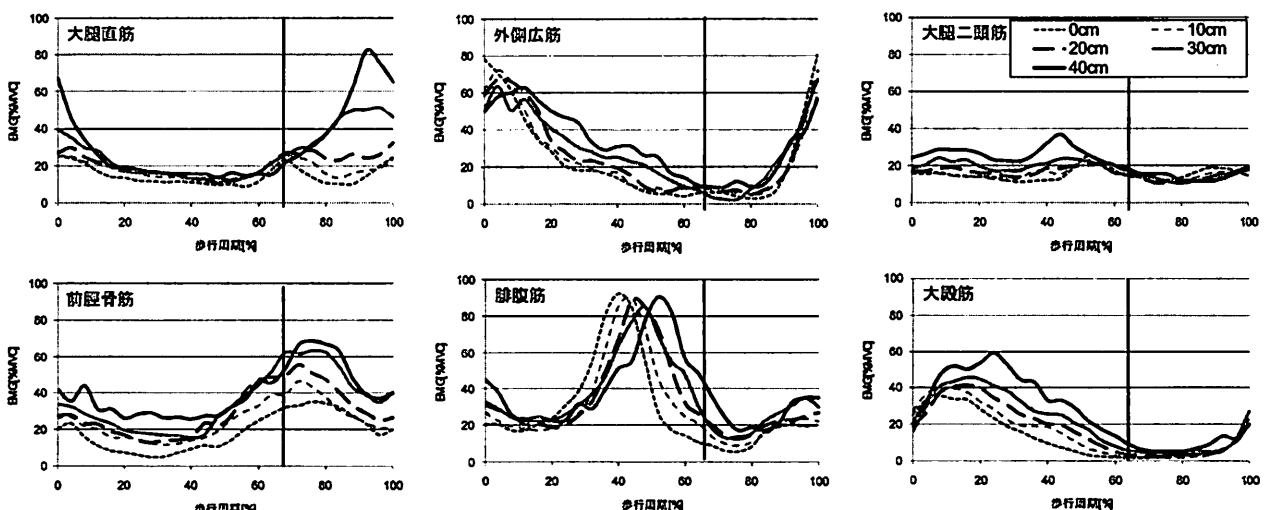


図-2 1歩行周期あたりの各筋の活動

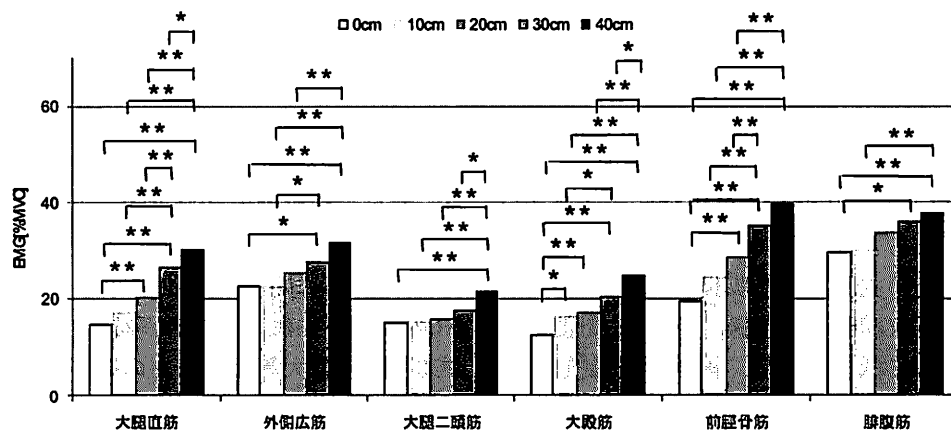


図-3 地上水深と各筋の平均筋活動量の関係 (**: $p < 0.01$ *: $p < 0.05$)

示している。大腿直筋は地上水深に比例して、遊脚期の活動が増加した。外側広筋は立脚期の歩行周期10～64%の間で、地上水深に比例して、立脚期の活動が増加する傾向がみられた。大腿二頭筋は立脚期に地上水深に比例して活動が増加した。前脛骨筋は歩行周期全般にわたり活動の増加がみられた。腓腹筋は地上水深が増すと、立脚期にある活動のピークが遅れる傾向がみられた。大殿筋は地上水深が増すと立脚期の活動の増加がみられた。

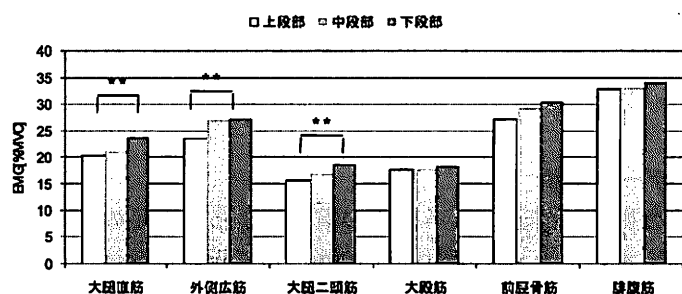


図-4 階段箇所と各筋の平均筋活動の関係

(** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$)

図-3に地上水深と各筋の平均筋活動量の関係を示す。図-3から、すべての筋が地上水深に比例して活動量が増加する傾向がみられた。平均筋活動量に対して地上水深間の分散分析を行った結果、すべての筋の平均筋活動量に有意水準1%で有意差が認められた。次に各筋について多重比較検定 (Tukey-Kramer法) を行った結果、地上水深40cmと0cm、地上水深40cmと10cmの間では、すべての筋で有意水準1%で有意差が認められた。

図-4に階段箇所と各筋の平均筋活動の関係を示す。図-4から、すべての筋において、階段の下段部を昇段したときが最も活動量が大きく、階段の位置が高くなるにつれて、活動量が減少する傾向がみられた。平均筋活動量に対して階段箇所間の分散分析を行った結果、大腿直筋、外側広筋、大腿二頭筋に有意差が認められた (1%)。大腿直筋と外側広筋、大腿二頭筋ともに、下段部と上段部の間で有意差が認められた (1%)。

(2) 歩行周期の違いによる筋活動の傾向

避難時間に影響を及ぼすと考えられる歩行周期の違いによる筋活動の傾向をみるために、各地上水深ごとに筋電図を計測した区間の歩行周期の平均値と標準偏差を算出し、それらの平均値に標準偏差を加算した時間を標準的な避難時間指標の上限とした。この上限より長い歩行周期の被験者を避難が遅いと判断し、避難が遅い被験者とそうでない被験者の2群に分けた。表-1に各被験者の歩行周期を示す。地上水深0cmのとき、上限は1.13secで、上限を超える被験者はみられなかった。地上水深40cmにおける上限は2.17secで、被験者A (2.44sec) と被験者B (2.38sec) が上限を超えていた。

図-5に地上水深40cmのときの避難が遅いと判断した被験者A、Bと標準の避難時間であると判断した被験者C～Jの平均筋活動量を示す。t検定を行った結果、地上水深40cmでは、すべての筋において有効水準1%で有意差が認められた。図-6に、地上水深40cmのときの被験者A、Bと被験者C～Jの1歩行周期あたりの各筋の筋活動を示す。図-6より、大腿直筋の遊脚期の活動が、被験者A、Bより被験者C～Jの方が大きくなる傾向がみられた。外側広筋は、立脚期に被験者C～Jの方が活動が大きくなる傾向がみられた。大腿二頭筋の立脚

表-1 各被験者の歩行周期[s]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	平均	標準偏差	上限
地上水深0cm	1.04	1.11	1.02	1.04	1.10	1.03	1.09	1.02	1.13	1.11	1.07	0.06	1.13
地上水深40cm	2.44	2.38	1.57	1.47	1.44	1.24	1.61	1.79	1.61	1.52	1.71	0.47	2.17

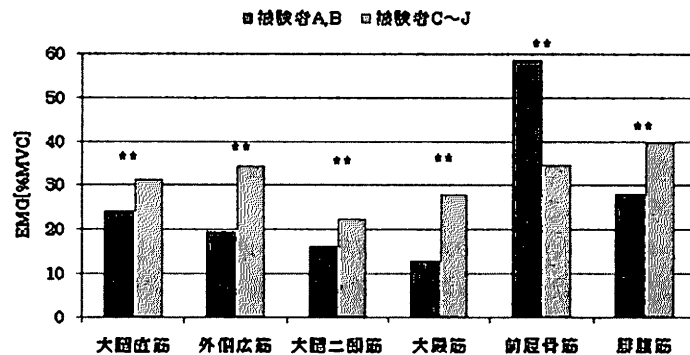


図-5 2群における地上水深40cmの平均筋活動量 (** : $p < 0.01$)

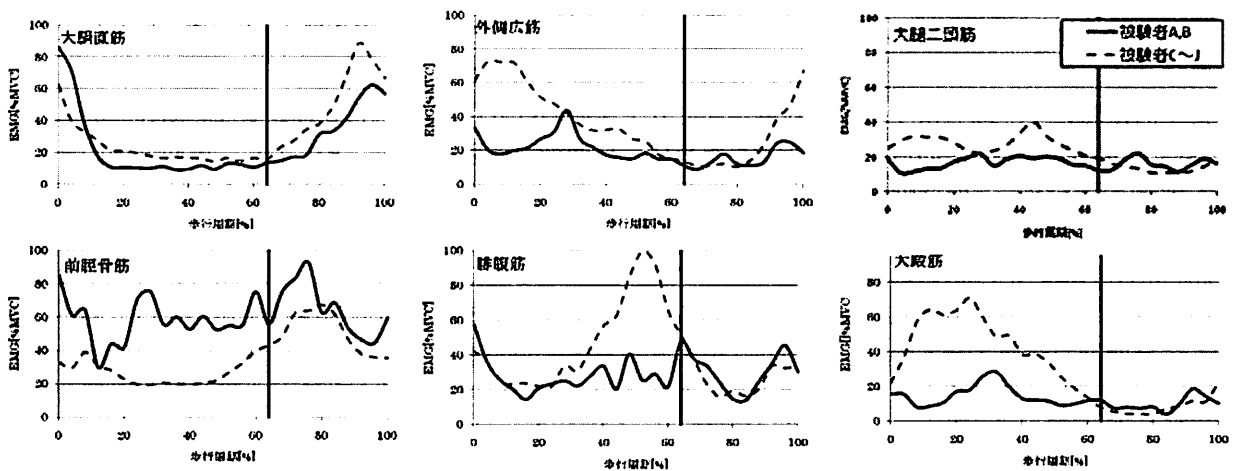


図-6 2群における1歩行周期あたりの各筋の活動 (地上水深 40cm)

期に、外側広筋ほど顕著に表れていないが、被験者C~Jの方が活動が大きくなる傾向がみられた。前脛骨筋は、全般的に被験者A,Bの方が活動が大きい、特に立脚期のときに活動を差が大きいことがわかる。腓腹筋は、被験者C~Jには歩行周期40~60%にかけて大きな活動がみられるが、被験者A,Bには歩行周期40~60%に活動がみられなかった。大殿筋に関しても、被験者C~Jには立脚期に大きな活動がみられるが、被験者A,Bには立脚期に活動がみられなかった。

4. 考察

(1) 避難時に予想される転倒

前脛骨筋は、地上水深0cmから地上水深40cmの平均筋活動量の増加量が20.3%MVCで最も増加量が大きく、多重比較の結果から7つの地上水深間で有意差が認められたことから、氾濫水の影響を受けやすい筋であるといえる。前脛骨筋の地上水深の増加による筋活動の増加の傾向は、歩行周期全般にわたりみられた(図-2)。Okamoto et al.⁷⁾⁸⁾は、幼児や脳梗塞を起こした片麻痺患者の不安定な状態にある歩行時の筋活動を調べた結果、幼児や片麻痺患者は立脚期の前脛骨筋、外側広筋の活動が大きくなると報告している。外側広筋に関しても、前脛骨筋と同様に地上水深に比例して、立脚期の活動が増加している。つまり、地上水深の増加に伴い、姿勢を維持することが困難になり、立脚期に前脛骨筋と外側広筋の活動が増加したと考えられる。また、日常生活における階段昇段では、前脛骨筋は遊脚期につま先を上にあげるために足関節を背屈させる¹⁰⁾。このことから、地上水深が増すにつれて、つま先を上げにくくなり、より力を入れるために遊脚期の前

脛骨筋の活動が増加することがわかる。また、つま先と階段の角との距離が近い場合や地上水深40cmよりも水量が多い場合では、足の甲にかかる氾濫水によって、前脛骨筋がうまく足関節を背屈させることができずに、階段の角につま先をひっかけて転倒する危険性が考えられる。

大腿直筋は、地上水深0cmから地上水深40cmの平均筋活動量の増加量が15.8%MVCで、前脛骨筋の次に増加量が大きく、多重比較の結果から8つの地上水深間で有意差が認められた。このことから、大腿直筋も前脛骨筋と同様に氾濫水の影響を受けやすい筋といえる。特に、大腿直筋は、遊脚期に地上水深に比例して活動が増加している。これは、水中歩行時にも同様に遊脚期に活動の増加がみられている¹¹⁾ことから、水に抵抗して股関節を曲げて脚を前に出す必要があったためであるといえる。また、地上水深40cmよりも水量が多い場合では、脚にかかる氾濫水によって、大腿直筋がうまく股関節を屈曲させることができずに、踏み外しによって転倒する危険性が考えられる。

大殿筋は、地上水深0cmから地上水深40cmの平均筋活動量の増加量が12.3%MVCで、多重比較の結果から8つの地上水深間で有意差が認められたことから、氾濫水の影響を受けやすい筋であるといえる。大殿筋は、地上水深に比例して、立脚期の活動が増加した。日常生活における階段昇段での大殿筋の役割は、立脚期に股関節を伸展させることで、身体を上方へ引き上げる働きをすることである¹⁰⁾。このことから、地上水深が増すにつれて、股関節を屈曲するためにより強く大殿筋が活動する必要があったといえる。また、大殿筋が最も活動している立脚期前半である歩行周期10～20%の部分は、足底と床との摩擦が大きくなる期間である¹²⁾。つまり、地上水深40cmよりも水量が多い場合や、摩擦係数の少ない床や靴を履いていた場合、股関節を伸展させて、体を上方へ持ち上げようとしたときに滑って転倒する危険性が考えられる。

日常生活において、最も滑りによる転倒が起こりやすいのは立脚期の後半である歩行周期40～60%の期間であり、この期間では、次の段に身体を運ぶために、足関節を底屈させることにより、足底と地面との摩擦が最も大きくなる¹²⁾。この立脚期の後半は、足関節の底屈を行う腓腹筋が最も活動する時期と一致する。地上水深0cmの腓腹筋の活動のピークは92.6%MVC、地上水深40cmでは90.6%MVCとほぼ等しく、腓腹筋が足関節を背屈させる力は、氾濫水の影響を受けていないといえる。しかし、足底と床との摩擦力を考慮した場合、足関節を背屈させる力に氾濫水による力が加わるため、滑りによる転倒の危険性は大きくなっていると考えられる。足関節を背屈させる力だけでなく、氾濫水が身体にかかることによって足底と床との摩擦力が、日常生活における階段昇段時よりも増加することを考慮すると、着用する靴や階段の床の材質も避難時には大きく影響すると考えられる。

(2) 安全避難限界水深

多重比較の結果、すべての筋で有意差が認められたのは、地上水深 40cm と地上水深 0cm、地上水深 40cm と地上水深 10cm の間であった。大腿二頭筋は地上水深 30cm 以下の条件間では有意差は認められなかったが、地上水深 40cm では、地上水深 0～30cm で有意差が認められた。

前傾姿勢で歩行した場合、姿勢維持のために大腿二頭筋の活動が大きくなるという報告がある⁷⁾¹³⁾。本研究においても、地上水深 0cm よりも地上水深 40cm のときの方が前傾姿勢になる様子がみられた。階段昇段時においても、歩行時と同様に前傾姿勢になると大腿二頭筋が活動すると考えられる。つまり、水が流れてくる浸水避難時には、前からくる水流に抵抗し転倒を避けるために、水の抵抗が大きくなるほど、重心を前に移動させて、より前傾姿勢になろうとする。その結果、前傾姿勢を維持するために立脚期の大腿二頭筋が活動したと考えられる。

以上のことから、地上水深 40cm の階段昇段は、地上水深 30cm 以下の状態よりも明らかに筋負担が大きいがわかる。安全に避難することを考えると、地上水深 30cm が安全避難限界の目安になると考えられる。

(3) 階段の位置の違いによる転倒危険性の変化

すべての筋において、下段部を昇段したときの筋活動が最も大きくなる傾向が得られた。石垣ら⁵⁾は、階段を流れる水流の流速と足にかかる流体力を計測した結果、階段を流れる水流は階段の下段になるにつれて流速は速くなるが、階段の上段部の方が脚にかかる流体力は大きいと報告している。これらのことから、地下浸水時に階段を昇段して避難する場合、人は流速の影響を受けやすいと考えられる。また、多くの被験者から、階段の昇り始めである下段部は水が白濁するため見えにくいという感想が得られた。この階段が見

えにくいという視覚的な影響も、下段部の筋活動が大きくなった原因の一つと考えられる。以上のことから、最も転倒の危険性が高いのは下段部であるといえる。

(4) 歩行周期の違いによる筋活動の傾向

表-1より、地上水深40cmでは避難が遅いと判断した被験者A,Bは、地上水深0cmでは避難時間は標準と判断できた。これは、被験者A,Bがもとから階段を昇段するのが遅いわけではなく、地上水深40cmのときに避難が遅くなったといえる。

地上水深40cmの各筋の平均筋活動量をそれぞれt検定を行った結果、前脛骨筋を除くすべての筋で、歩行周期が短い被験者C~Jよりも、歩行周期の長い被験者A,Bは筋活動が有意に小さいという結果が得られた。これは、歩行周期の短い被験者C~Jの方が力強く昇段していることを示していると考えられる。

大腿直筋と大腿二頭筋に関しては、被験者C~Jと被験者A,Bとで地上水深40cmのときの平均筋活動量の差が、それぞれ7.3%MVCと6.2%MVCであり、外側広筋が15.2%MVC、大殿筋が15.4%MVC、前脛骨筋が23.6%MVCであるこれら3つの筋に比べると活動量が小さく、それほど両者の違いを表していないと考えられる。

図-6をみると、外側広筋と大殿筋、腓腹筋は、被験者C~Jの方が被験者A,Bより筋活動が大ききことがわかる。外側広筋の役割として、膝関節を伸展させて、体を上に引き上げる役割を果たしている¹⁰⁾。このことから、被験者A,Bは膝関節の伸展力が弱く、うまく身体を上方へ持ち上げることができていないといえる。大殿筋の役割は股関節を伸展させて身体を支持脚へ引き寄せる働きをするといわれていることから¹⁰⁾、被験者A,Bは身体を支持脚に引き寄せる力が弱いといえる。腓腹筋の役割は、足関節を底屈させ、地面を蹴り、推進力を生み出すことである¹⁰⁾。つまり、歩行周期の長い被験者はうまく推進力を生み出せていないといえる。

前脛骨筋は、被験者C~Jと被験者A,Bとで平均筋活動量の差が23.6%MVCで最も平均筋活動量の差が大きかった。図-6をみると、立脚期に活動の違いが表れている。前脛骨筋の階段昇段時の役割は、立脚期から遊脚期に変わるときに足関節を背屈させ、つま先が地面に引っかからないようにする役目がある¹⁰⁾と同時に、立脚期のときには身体のバランスを保つときに働く筋でもある⁷⁾⁸⁾。このことから、被験者A,Bの立脚期の前脛骨筋の活動は、被験者A,Bの身体のバランスが安定していないことを示していると考えられる。

以上のことより、被験者A,Bはバランスが不安定で避難が困難になっており、力を入れて階段を昇段するというよりは、水流に抗して階段を昇段するために必要な筋活動を発揮する余裕が充分ではなく、そのために避難に時間がかかったと考えられる。つまり、階段昇段時に活動すべき時期に、腓腹筋や外側広筋、大殿筋にしっかり力を入れることが出来れば、浸水避難時にも安全に避難できると考えられる。

5. おわりに

本研究では、地下浸水を想定した実物大階段模型を用いて、避難時の転倒危険性を評価するために、階段昇段中の筋電図を計測した。その結果、階段昇段時の各筋の傾向が明らかになり、つまずき・踏み外し・滑りによる転倒の危険性、安全避難限界水深が30cmであること、階段の1~3段目が最も転倒の危険が高いこと、安全に避難するためには外側広筋と大殿筋、腓腹筋が重要であることが示唆された。

謝辞：本研究の一部は、平成19年度京都大学防災研究所萌芽的共同研究において、研究課題「生体計測技術による地下空間浸水時の災害時要援護者避難に関する研究」として研究費、および、日本学術振興会の科研費（20310096）の助成を得た。

参考文献

- 1) 大西良純，石垣泰輔，馬場康之，戸田圭一：地下空間浸水時における避難困難度指標とその適用，水工学論文集，Vol152，pp. 841-846，2008.
- 2) 戸田圭一：都市水害とその対策，都市問題研究，Vol. 58，No. 7，pp. 35-47，2006.
- 3) 武富一秀，館健一郎，安田浩保，金木誠，飯田進史，平川了治，谷岡康，高木茂知：地下空間の水害リスク評価手

法の検討, 河川技術論文集, Vol. 9, pp. 311-316, 2003.

- 4) 館健一郎, 武富一秀, 水草浩一, 末次忠司, 吉谷純一: 階段を通じた地下空間への氾濫水流入に関する実験, 土木技術資料, Vol. 42, No. 2, pp. 22-27, 2001.
- 5) 石垣泰輔, 戸田圭一, 馬場康之, 井上和也, 中川一, 吉田義則, 多河英雄: 実物大階段およびドア模型を用いた地下空間からの避難に関する水理実験, 京都大学防災研究所年報, No. 48 B, pp. 639-646, 2005.
- 6) 須賀堯三, 上坂恒雄, 吉田高樹, 浜口憲一郎, 陳志軒: 水害時の安全避難行動 (水中歩行) に関する検討, 水工学論文集, Vol. 39, pp. 879-882, 1995.
- 7) Okamoto, K., Ogawa, R., Okamoto, T., Andrew, PD. :An index of gait instability based on electro-myographic findings during the development of gait, Journal of Physical Therapy Science, Vol. 10, No. 2, pp. 61-71, 1998.
- 8) Okamoto, T., Okamoto, K., Andrew, PD. :Electromyographic developmental changes in one individual from newborn stepping to mature walking, Gait & Posture, Vol. 17, No. 1, pp. 18-27, 2003.
- 9) Horak, FB., Nashner, LM. :Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations, Journal of Neurophysiology, Vol. 55, No. 6, pp. 1369-1381, 1986.
- 10) McFadyen, BJ., Winter, DA. :An integrated biomechanical analysis of normal stair ascent and descent, Journal of Biomechanics, Vol. 21, No. 9, pp. 733-744, 1988.
- 11) Kato, T., Sugagima, Y., Koeda, M., Fukuzawa, S. :Electromyogram activity of leg muscles during different types of underwater walking, Advances in Exercise and Sports Physiology, Vol. 8, No. 2, pp. 39-44, 2002.
- 12) Redfern, MS., Cham, R., Gielo-perczak, K., Groenqvist, R., Hirvonen, M., Lanshammar, H., Marpet, M., Pai, CY., Powers, C. :Biomechanics of slips, Ergonomics, Vol. 44, No. 13, pp. 1138-1166, 2001.
- 13) 飯盛仁志: 歩行における前傾姿勢が下肢筋の筋活動量に及ぼす変化 高齢者歩行との比較検討, 日医大誌, Vol. 61, No. 1, pp. 17-25, 1994.