

信州大学審査学位論文

ランニングシューズの足長および足囲サイズの適合性と
歩行動作の関係に関する研究

2016年3月

林 亮誠

目次

第1章	序文	1
1.1	背景	2
1.2	研究目的	5
1.3	論文構成	6
第2章	歩行動作の基本事項	7
2.1	用語の解説	8
(1)	歩行周期	8
(2)	歩行時における下肢の筋活動	9
(3)	靴用語に関する説明	11
第3章	靴の装着状態の統一	14
3.1	目的	15
3.2	方法	15
3.2.1	試料	15
3.2.2	被験者	16
3.2.3	実験試技と計測装置	16
3.2.4	解析方法	20
3.3	結果	20
3.4	考察	24
3.5	歩行実験での靴の装着状態の条件	25
第4章	靴の足長サイズの違いが歩行動作に及ぼす影響	26
4.1	目的	27
4.2	方法	27
4.2.1	試料	27
4.2.2	被験者	28
4.2.3	実験試技と計測項目, 装置	29
4.2.4	解析方法	33
4.3	結果	38
4.4	考察	54
4.5	まとめ	57
第5章	靴の足囲サイズの違いが歩行動作に及ぼす影響	58
5.1	目的	59
5.2	方法	59
5.2.1	試料	59
5.2.2	被験者	60
5.2.3	実験試技と計測項目, 装置	61
5.2.4	解析方法	64
5.3	結果	65

5.4	考察	81
5.5	まとめ	83
第6章	靴の足長および足囲サイズの違いが歩行動作に及ぼす影響	85
6.1	目的	86
6.2	方法	87
6.2.1	試料	87
6.2.2	被験者	87
6.2.3	実験試技と計測項目, 装置	88
6.2.4	解析方法	90
6.3	結果	91
6.4	考察	103
6.5	まとめ	106
第7章	滑り防止が期待できる足底挿板が歩行に及ぼす効果	108
7.1	目的	109
7.2	方法	109
7.2.1	試料	109
7.2.2	被験者	111
7.2.3	実験試技と計測項目, 装置	111
7.2.4	解析方法	113
7.3	結果	114
7.4	考察	119
7.5	まとめ	119
第8章	結言	120
	参考文献	124
	発表論文リスト	127
	謝辞	128

第 1 章 序文

1.1 背景

現代の日本においては、物質面においては非常に豊かになり、身の回りには多くのモノが溢れている。同時に精神面での満足を得ようと心の安らぎや心身の健康に、関心が向けられる風潮になっている。そんな中、歩くことや走ることをはじめとした運動を通して、健康的な身体や生活を求める傾向が強くなっている。こうした背景からスポーツ人口は拡大しているが、このことに伴ってそれらの活動を支えている「靴」への人々の関心も年々高まっている。

足は「第二の心臓」と言われる¹⁾。足は脳や心臓から最も遠い位置にあり、特に立位では血液が心臓に戻りにくい。そのため、足を含む脚は歩行の際に血液を押し上げるポンプの役割を果たしている。つまり、着地や地面を蹴りだす際の筋肉の活動により血液を押し上げる効果がある。このように脚の筋活動がポンプの役割を担うことが「第二の心臓」と呼ばれる由縁である。図1に示す様に歩行動作をすることで、筋活動が起こり血液の循環を促す作用である。したがって、身体にとって歩行を支える大切な役割を担っているのが地面と接する足であり、さらに人間が生活する上で大切な足を保護し、歩行でも重要な役割を担うと考えられるのが「靴」である。

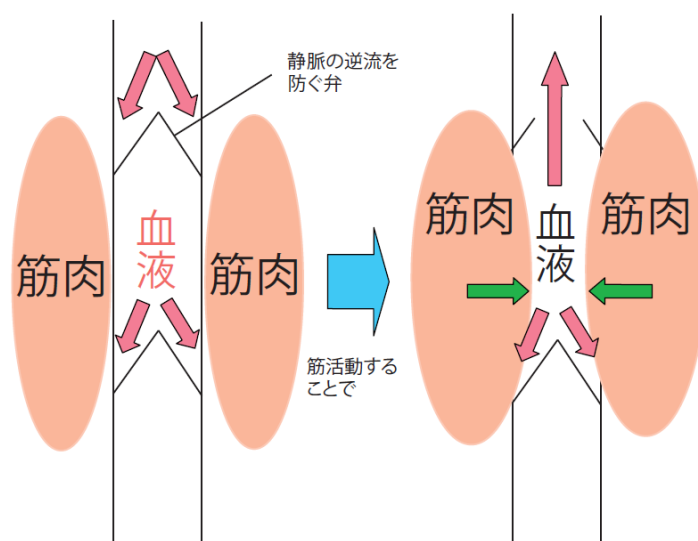


図1 脚のポンプ効果のイメージ

現在の日本における高齢者の増加は、大きな問題になっている。平成 24 年の厚生労働省の人口動態統計によると、1950 年以降高齢者率は 4.9%から年々増加傾向にあり、2010 年時点で 23.0%にまで達している。合わせて出生率も低下の一途たどり、予測においても 2030 年には高齢化率が 30%を超えるとも言われている²⁾。このように超高齢社会を迎えた日本では「健康」が課題であり、スポーツを行う人が増加している。この一年間で何かしらのスポーツを行った方で、その実施目的を「体力つくりのため」と答えた割合は 48.2%であり、スポーツを健康作りのために行うという意識は確実に高まりをみせている³⁾。その中で高齢者を含め手軽に行われているスポーツ・運動の一つがウォーキングである。内閣府大臣官房政府広報室による調査によれば、この一年で行った運動の中でウォーキングはスポーツの中で最も多い結果となった⁴⁾。ウォーキング人口約 4000 万人とも言われる。走ること、歩くことなど手軽で基本的な身体運動を通して健康な生活の維持につとめている。スポーツを愛好する人は使用する「靴」に対しても関心が高い場合が多い。

健康作りの上で重要な役割を果たす足を保護する「靴」であるが、足に合わない「靴」を履くことで、歩行に違和感が生じ整形外科的な疾患へ発展する場合もある。例えば、靴擦れやハンマートゥ、外反拇指がその代表であり、膝や腰などの様々な身体部位へ影響を及ぼす。結果として健康維持はおろか自然な歩行すらできなくなる可能性がある。福岡の研究⁵⁾においても、「靴」の機能として重要なものに、安定性、重量などと同様に適合性が重要となると指摘されている。この足と「靴」との適合性には、形状的な適合性と機能的な適合性の 2 種類がある。形状的な適合性とは、足型計測などによるユーザーの足型に対する静止的なフィッティングである。一方、機能的適合性とは、例えば使用者の動作に対してクッション性が十分であるかなど、用途・目的に適しているか機能が満たされているかを指すものである。

近年、スポーツシューズ市場では様々な機能を持ったランニングシューズやウォーキングシューズが発売され、ユーザーにとっては選択肢が増加している。実際の靴選びでは多くのユーザーは自分の今までの経験や感覚で形状的な適合性もあまり意識せず足長サイズのみで靴選びを行っているのが現状である。形状的に適合した「靴」を選ぶことは難しいのは、①衣料と異なり極端に、許容範囲（寸法）が小さい、②量産品では同じ足長でも大きさや形が異なる多様な足に適合しなければならない、③個人の感覚に依存する要素が強い、④静止状態と歩行状態では足型が変形する

などの要因が考えられる。靴合わせの専門資格を持つシューフィッターが、ユーザーの足型を計測したデータから診断を行い、ユーザーの足型に合った「靴」を選ぶサービスを行う店舗はある。しかし、これはあくまでも静止状態の足に対してのフィッティング（形状的適合）であり、足の変形を伴う歩行での動的な状態でも適合する「靴」なのかどうかはわからない。山崎らの研究⁶⁾においては、履き心地を支配する要因には、時、場所、好みなどの間接的・心理的要因と靴の寸法、形態、構造、材質などの直接的・物理的要因など様々な要素が存在することが指摘されている。その他に、足と「靴」の適合性は歩行の動的状態において評価しなければならないと述べられている。実際のところは、店頭で消費者はデザインや色を気に入った商品が、やや横幅が狭いので足長サイズが少し大きいものを購入することもある。このことは機能的（動的）適合性にも悪影響を及ぼし、実際に使用してみるとつま先が痛いや靴擦れ起こるなどの不具合の原因となる可能性がある。このようにショップでの試し履きや数歩の歩行で靴選びを行っても、実際の運動や生活の中で使用してみると足に合っていないことや自然な歩行が行えない場合も出てくる。例えば、歩いたり走ったりする際に、「靴」が大きすぎれば靴内で足がズレたり、逆に小さすぎれば部分的に圧迫され、思い通りに押しが運べないばかりか圧迫感が痛みに変り、履き続けることができなくなってしまう。さらに我慢していると、外反母趾のように足が変形してしまうことさえある。つまり、「靴」に求められている最も大切な機能は、履く人の足に静的にも動的（機能的）にも適合していることである。

このように靴のサイズ選びには静止状態で形状的適合性ばかりをみるのではなく、歩行（動的な状態）で脚（足）への負担や歩行動作への影響をみることで、つまり機能的な適合に配慮することが重要だと考えられる。このため適合性の評価は、歩行という動的な状態についても生理学的、力学的、心理学的な観点から計測を行っていく必要がある。

1.2 研究目的

現在、「靴」のサイズの基準はメーカーが設計段階で独自に決定したサイズであり、ユーザーは売り場での試し履きとこれまでの経験から適合を判断することが多い。近年は店頭での足型計測機器を用いた足部の3次元の形態計測から靴選びをサポートしているメーカーもある。しかし、これらのサービスはあくまで靴型と足型との形状的な適合性を評価し、ユーザーの足型と靴型が近い、あるいはある一定の基準で適合する商品を案内するに過ぎない。しかし、歩行や運動時は足も靴自体も変形する。足と地面との接地局面では、足への荷重分布が時々刻々変化することから、形状のみで適合を決めることは難しいと考えられる。

ところで、靴作りでは「捨て寸」は書かせないポイントである。「捨て寸」とは「靴」の爪先の空間のことで、通常、指から「靴」の先までに1cm~2cm位の空間が設定されている。「捨て寸」はシューズメーカー各社に基準があり、デザインや靴の仕様用途によって大きく異なる⁷⁾。つまり、同様のサイズ表記でも「靴」には様々なサイズや基準が存在し、一概にサイズ表記や足部形態計測をベースにした靴選びで適合するものを選べるとは限らない。さらに、靴選びの場面で足幅(足囲)が窮屈なため、あえて大きな足長サイズを選ぶ人もいる。足に対して靴サイズが大きいという不適合の場合は、経験的に歩きづらくなることが予想される。しかし、歩行動作にどのような影響があるかは不明であり、科学的な研究もほとんど見当たらない。

そこで本研究では、「靴」のサイズ表記である足長サイズと足囲サイズの2種類のサイズに注目し、不適合サイズ(主にそれぞれ大きなサイズ)の「靴」を着用することで歩行動作にどのような影響があるのかを生理学的、力学的、心理学的側面から定量的に明らかにすることを目的とする。

本研究では同一の足長サイズに対して3種類の足囲サイズ(ウィズD/2E/4E)があるランニングシューズを用いて歩行動作に及ぼす影響を検証することから、この足囲サイズ展開のあるニューバランス社製の市販品を実験試料として用いることとした。研究アプローチとしては、機能的な適合を検討するため接地中の床反力に注目をする。また、従来の動作解析を用いた検証ではなく、接地中の体重移動(荷重点軌跡)から歩行動作の解析を行う。同時に、同じ歩行動作時の下腿の筋活動の計測から生理的な負担も検証する。さらに、歩行感覚に関するアンケート調査も「蹴り出しやすさ」「フィット感」「履き心地」「衝撃感」に関して実施する。

1.3 論文構成

本研究の構成は，第 2 章にて歩行，歩行動作を担う下腿の筋活動，「靴」などに関わる用語を説明と定義を行った．第 3 章においては，ランニングシューズの装着状態を同様にするため，靴紐の結んだときの装着圧を検討した．ここで目安として定めた圧力で靴紐を締め，以降の歩行計測を実施した．第 4 章においては，足長サイズの違いに注目をし，下腿の筋電図や床反力計測，主観的評価などを用いて，歩行動作に及ぼす影響を定量的に検証した．続いて第 5 章においては，足囲サイズ（横幅および周囲長）が適合サイズよりも大きくなることによる歩行動作に及ぼす影響を定量的に検証した．そして第 6 章においては，足長サイズと足囲サイズがともに不適合である場合の歩行動作への影響を比較，検討した．さらに第 7 章においては，表面に樹脂突起を配して摩擦力を高めることで，シューズ内での足の滑り防止が期待できる足底挿板を用いることで，歩行動作にどのような影響を与えるのかについて定量的に検討し，不適合サイズのシューズ内では足が滑ることを傍証した．最後の第 8 章は結言として全体を総括した．

第2章 歩行動作の基本事項

2.1 用語の解説

(1) 歩行周期

本研究では，数歩の歩行動作の中から 1 歩行周期を抽出し解析を行う．歩行とは重心位置が連続的，周期的に変化し，片足支持期と両足支持期が交互に訪れる不安定な移動動作である．歩行を捉える上で基本となるのが 1 歩行周期である．1 歩行周期とは，右足を基準と考える場合は右足が踵接地時から離地し再び踵接地する状態までのことをいう(図 2.1)．また，1 歩行周期は立脚期と遊脚期に分けることができる⁹⁾．

立脚期 (stance phase)

一側の下肢の踵が接地して，同側の足先が離れるまでの時期をいう．一側肢で体重を支持している時期のことで，定着時期あるいは支持相（立脚相）とも言われる．一般的に歩行周期の 60% を占めている．立脚期の前半は失われた体幹の平衡を戻そうとする局面で，中期に体重が完全に同側脚に乗り平衡を取り戻す．また，立脚期後半は身体の重心線が足関節より前方に移動し足先で地面を蹴ることで推進力を得ている．

遊脚期 (swing phase)

一側の下肢の爪先(足指)が地面から離れてから，同側足の踵が地面に接するまでの時期をいう．一般に歩行周期の約 40% を占めると言われている．

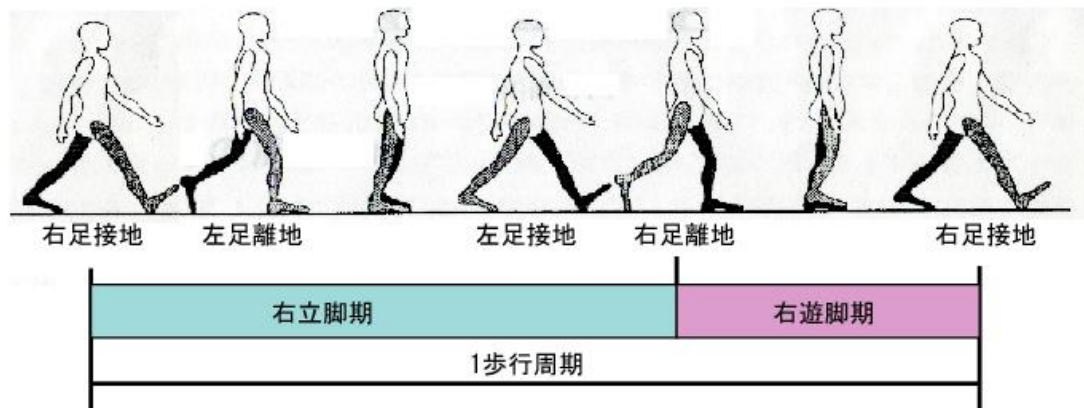


図 2.1 歩行周期⁹⁾

(2) 歩行時における下肢の筋活動

歩行時の筋活動には，歩容，歩行速度，履物，年齢，性別，歩き癖など様々な要素が関係し，また個人差もある．しかし，自然歩行における各筋群の活動する時期や活動量に類似性を見出すことができる．各筋が立脚期・遊脚期それぞれにおいて活動し個人差はみられない．下腿筋群のみに注目すると，例えば足関節背屈筋群は遊脚期に，底屈筋群は立脚期に活動するなど，立脚期に活動するものと遊脚期に活動するものとに分けられる．本研究で被験筋とする下肢の前脛骨筋は遊脚期から立脚期前半に活動し，腓腹筋は主に立脚期に活動する．

下腿の特定の筋が実際に活動するのは，歩行周期のうちでも限られた時期である．歩行周期における各筋の活動のタイミングとの関係は，健常者ではバラツキが少なくかなり類似することも確認されている⁹⁾．本研究では，特にシューズサイズの不適合による歩行動作への影響を定量的に検証することを目的としている．その中で，歩行の中で注目すべきポイントの一つは，接地時から蹴り出し時に関わる筋活動である．歩行時に活動する筋肉としては，前脛骨筋やヒラメ筋，腓腹筋などの下腿筋群と大腿二頭筋や内転筋，外側広筋などの大腿筋群の2群である⁹⁾．その中で，歩行時の立脚期前半に活動する筋は，大殿筋や前脛骨筋などの足関節背屈筋群であり，立脚期後半に活動する筋は，腓腹筋やヒラメ筋などである．本研究では足の接地時から離地時に注目すること

から，接地時の安定性に最も寄与する前脛骨筋と，離地時の蹴り出し動作に寄与する腓腹筋を計測対象にする．前脛骨筋は脛骨外側面，骨間縁，下腿骨間膜，下腿筋膜から起こり，脛骨前縁の外側に沿って下方に向かい，上・下伸筋支帯の下を通過して足背に出て，第1楔状骨の内側からその下面にまわり，第1楔状骨と第1中足骨底の足底面で停止する筋である．足背側に屈曲し，同時に足の内側縁をあげる役割をし，前傾姿勢での歩行で足の外側に体重をかけた場合，強力に働く．また，遊脚期では尖足にならないように足関節を背屈位に保持し，遊脚期から立脚期への変換期に強く働いて足関節の過度の底屈を防ぎ，踵接地時の安定のために足関節を固定する役割を果たす．一方，下腿三頭筋の表層部分にある腓腹筋は，下腿三頭筋のうちの1つで，大腿骨外側顆頭から起こり，他の筋と共通の強大な腱となり，踵骨隆起に停止する筋である．踵をあげて足を足底の側に曲げ，つま先立ちをさせる役割の他に膝関節を屈曲させる働きがある^{8) 9)}．これは，足関節の背屈を防ぎ重心線の通る位置を踵から足先に移動させ，さらに，床面からの反作用によって強く蹴り出して遊脚期に入るのに役立っている．二重膝作用による膝関節の屈曲にも関係しているが，腓腹筋を含む下腿三頭筋の本来の働きは前進，加速作用である¹⁰⁾．以上のことから，歩行時の踵接地時の安定性に寄与する前脛骨筋の活動から接地時の影響を評価し，また離地時の前進，加速作用に寄与する腓腹筋の活動から蹴り出し動作を評価することにした．

前脛骨筋と腓腹筋の筋活動をとらえるために，本研究では筋電図計測を用いる．身体の生命活動の基礎をなす筋肉の収縮時には，大脳運動中枢からの信号により脊髄の運動細胞である前柱細胞を興奮させて運動神経のインパルスによって筋線維の細胞膜が脱分極を起し変化が生じる．これが活動電位であり，皮膚表面に配した電極を介して記録したものが筋電図である．これらの筋電位データを処理することで，筋活動量を調べることができる¹¹⁾．本研究においては，この筋電図計測を用いて立脚期の筋活動量の定量化を行う．筋活動量の標準化を行うために，まず，各被験筋の最大随意筋収縮の筋電位信号を抽出し，整流化を行いそこから任意の1秒間を抽出し，積分和を求める．この値で立脚期の筋活動量を除することで，筋活動割合(%MVC)を算出する．このように，被験者の筋活動量の最大値に対しての各試技の筋活動の割合を算出することで，筋量や活動電位の個人差をキャンセルすることができ，シューズサイズの違いによる立脚期の筋活動を比較，検討することができる．

(3) 靴用語に関する説明

靴のサイズに関しては、図 2.3 に示すように足長サイズと足囲サイズの 2 種類ある。足長サイズとは、踵から足の指の一番長いところまでの長さのことを指し、一般的に「靴」のサイズを示すサイズのことである。また足囲サイズとは、足で最も横幅が広い部分のサイズのことであり、基本的に親指の付け根の骨が出っ張った箇所と小指の骨が出っ張ったところを通して周囲を測った寸法が足囲サイズと言う。一般的に足囲サイズを示す言葉として、ウィズ（あるいはワイズ）として表記されることが多い。ウィズサイズは JIS 規格にて子供、男性（表 2.1）、女性の 3 種類設定されている。足長サイズに合わせて、男性基準では最も小さいサイズを A と表記し、足囲の大きさによって E や EE などが割り当てられている。足に合う靴を選ぶには、足長サイズと足囲サイズの二つを計測することが重要だと言われている¹²⁾。

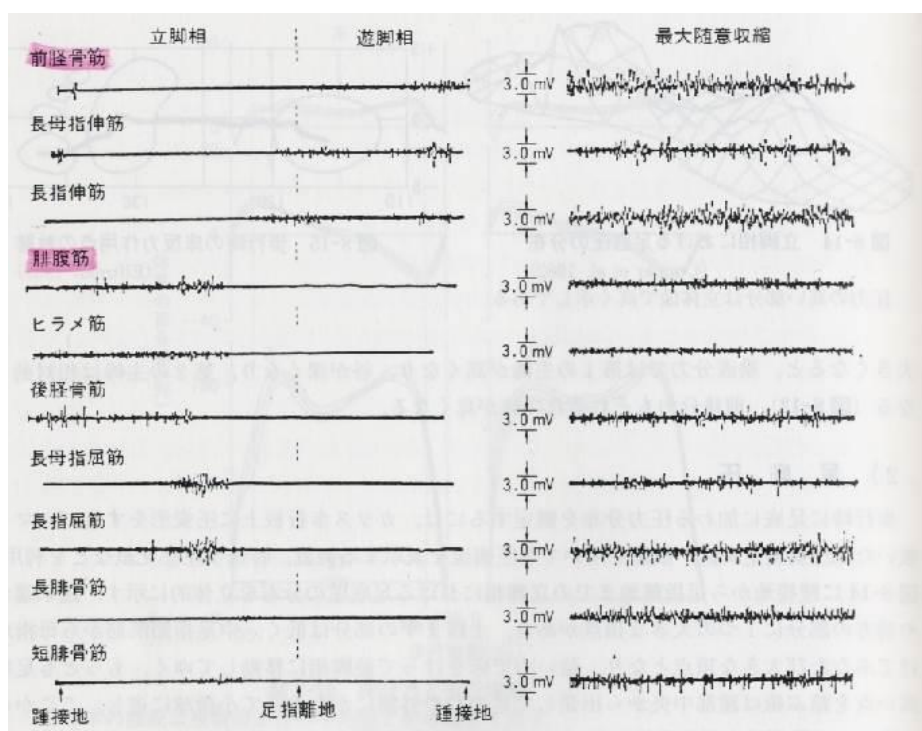


図 2.2 歩行時の下腿筋群の活動⁹⁾

表 2.1 JIS 規格に基づく足長と足囲（ウィズサイズ）関係（男性用）¹²⁾

足長		A		B		C		D		E		EE		EEE		EEEE		F		G	
cm	mm	足囲	足幅	足囲	足幅	足囲	足幅	足囲	足幅	足囲	足幅	足囲	足幅	足囲	足幅	足囲	足幅	足囲	足幅	足囲	足幅
20	200	189	79	195	81	201	83	207	85	213	87	219	89	225	91	231	93	237	96	243	98
20.5	205	192	81	198	83	204	85	210	87	216	89	222	91	228	93	234	95	240	97	246	99
21	210	195	82	201	84	207	86	213	88	219	90	225	92	231	94	237	96	243	98	249	100
21.5	215	198	83	204	85	210	87	216	89	222	91	228	93	234	95	240	97	246	99	252	101
22	220	201	84	207	86	213	88	219	90	225	92	231	94	237	96	243	98	249	100	255	102
22.5	225	204	85	210	87	216	89	222	92	228	94	234	96	240	98	246	100	252	102	258	104
23	230	207	87	213	89	219	91	225	93	231	95	237	97	243	99	249	101	255	103	261	105
23.5	235	210	88	216	90	222	92	228	94	234	96	240	98	246	100	252	102	258	104	264	106
24	240	213	89	219	91	225	93	231	95	237	97	243	99	249	101	255	103	261	105	267	107
24.5	245	216	90	222	92	228	94	234	96	240	98	246	100	252	103	258	105	264	107	270	109
25	250	219	92	225	94	231	96	237	98	243	100	249	102	255	104	261	106	267	108	273	110

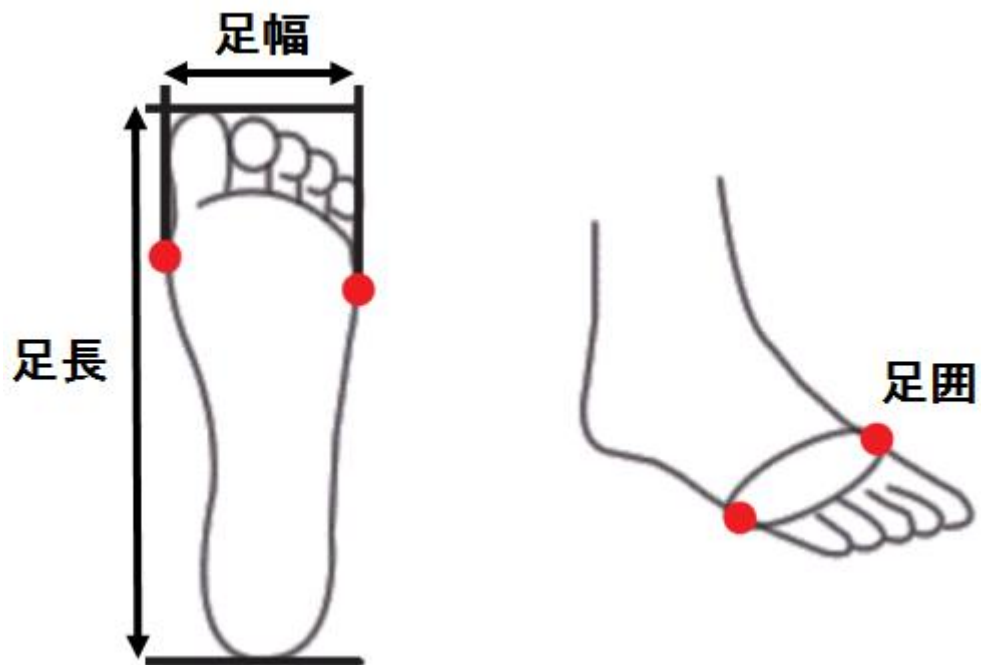


図 2.3 足長サイズおよび足囲サイズ（ウィズ）

第3章 靴の装着状態の統一

3.1 目的

シューズサイズの違いによる歩行動作への影響を定量的に検証するためには、各試料の同様な装着状態が必須である。そこで、靴紐を締めた時の足部とシューズ間に生じる圧力を計測して、靴の装着状態を同様にする方法を検討することが本章の目的である。

シューフィッターが対象者の靴合わせをする際に注目する点として、履く際の条件は踵部が動かない、靴の中で固定されることがあげられている。また、靴を履かせるときのチェックポイントとして、①峰線に沿って紐（シューレース）が弛んでいないかチェックする、②足高点で緩く無くきつくも無い結び目かをチェックする、③全体に均一の状態にする、この3つが挙げられている。この注意点の中で「峰線に沿って紐が弛んでいないか」および「足高点でゆるくも無くきつくも無い結び目」の2つのポイントに注目し実験を行うこととした。

3.2 方法

3.2.1 試料

実験試料として、図 3.1 に示すニューバランス社製 CM575MB ウィズ D のランニングシューズを使用した。

表 3.1 実験試料データ

サイズ 表示	質量(片足)g	アウトソール		インソール	
		足長(mm)	足幅(mm)	足長(mm)	足幅(mm)
26.0	365.0	285.0	105.0	265.0	98.0
26.5	372.0	295.0	110.0	275.0	100.0
27.0	388.0	305.0	115.0	280.0	103.0
27.5	394.0	315.0	115.0	285.0	105.0
28.0	405.0	325.0	115.0	290.0	107.0



図 3.1 実験試料

3.2.2 被験者

被験者は表 1 に示す健康で足に大きな受傷歴のなく，利き足が右足の男子大学生 5 名（足長サイズ $26.9 \pm 0.5 \text{cm}$ ）とした．実験に先立ち，実験中に想定される危険や安全への配慮，個人情報管理などに関して説明し同意を得た上で実験を行った．

3.2.3 実験試技と計測装置

被験者には，普段履いている（足長）サイズの実験用シューズ（試料）に対して普段締める靴紐の締め方で被験者自身に靴紐を締めてもらった．

圧力の計測箇所は図 3.2（左）に示す①内側面中央，②内側鳩目中央部，③足高点（結び目），④外側鳩目中央部，⑤外側面中央部の 5 箇所とした．さらに，図 3.2（右）に示す A 土踏まず上端，B 内側鳩目最上部，C 外側鳩目最上部，D 外側面中央 A～D の 4 箇所の計 9 箇所について，センシング部分が直径 1cm で円形の小型の圧力センサーシート（ニッタ（株）製 Flex・Force）を測定箇所の挿入し計測し，デジタルマルチメータに出力される値を記録した．姿勢の影響を考慮するために立位と着座のそれぞれで 1 箇所につき 3 回ずつ計

測を行った。立位姿勢では，図 3.4 に示すようにスタンスを肩幅に広げ，足首部の角度が 90° になるような姿勢で計測を行った。また，図 3.5 に示すように着座姿勢では，腰と膝および足首がすべて 90° となるような姿勢で計測を行った。実験用の靴下は同一のものを用意し着用して計測した。



図 3.2 圧力計測箇所 (a) ・ (b)



(a)
(a) ボタン式圧力センサ



(b) デジタルマルチメータ

図 3.3 計測装置 (a) ・ (b)



肩幅



(a) 正面

(b) 側面

图 3.4 立位姿势 (a) · (b)

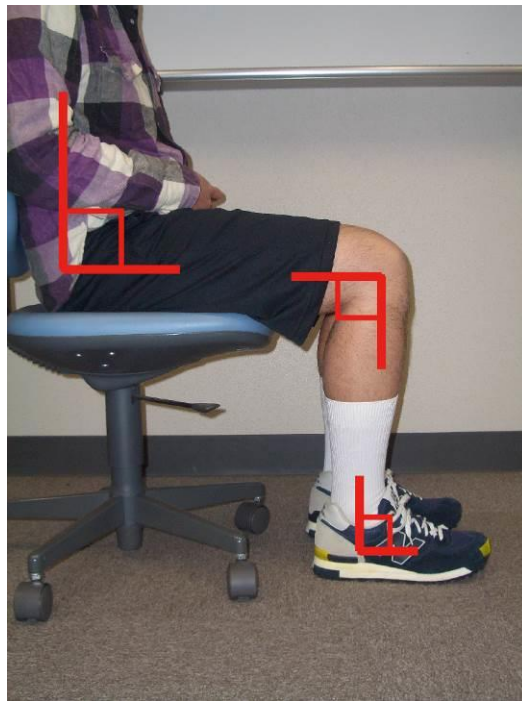


图 3.5 着座姿势

3.2.4 解析方法

直径 1cm のセンサに対して均一に圧力がかかるように，低反発素材のスポンジをセンサ上に張り分銅（5gf/10gf/15gf/20gf）を用いてキャリブレーションを行った．

解析方法として，圧力センサシート（Flexi Force）で得られる力をセンサの面積にて除し圧力（gf/cm²）とした．データは計測箇所ごとに平均値を求め，比較した．

3.3 結果

◆ 実験 1 圧力計測の位置について

①から⑤の計測位置 5 箇所を得られた圧力の平均値と標準偏差を算出した結果を図 3.6（着座位）と図 3.7（立位）にそれぞれ示す．

図 3.6（着座位）より，計測箇所①内側面中央から順に右足外側へいくにつれて，圧力の値が小さくなる傾向がみられた．また，②内側鳩目中央部と③足高点（結び目）では 40gf/cm² でほぼ同じ圧力になった．そして⑤外側面中央部では，他の計測箇所に比べ極端に値が小さくなる傾向がみられた．

図 3.7（立位）より，全体の傾向は着座での圧力の傾向と同様な結果が得られた．しかし，⑤外側面中央部において着座状態よりも低い圧力となった．

◆ 実験 2 圧力計測の姿勢について

A から D の計測箇所 4 箇所 で得られた圧力の平均値と標準偏差を算出した結果を図 3.8 (着座位) , 図 3.9 (立位) に示す.

図 3.8 (着座) より, 計測箇所 A 土踏まず上端の値が極端に小さい傾向がみられた. B 内側鳩目最上部の値は着座位での計測箇所である②内側鳩目中央部の値と近い圧力の値となった. C 外側鳩目最上部の値も着座位での計測箇所である④外側鳩目中央部の値と近い圧力の値となった.

図 3.9 (立位) より, 全体の傾向は着座での圧力の傾向と同様な結果が得られた.

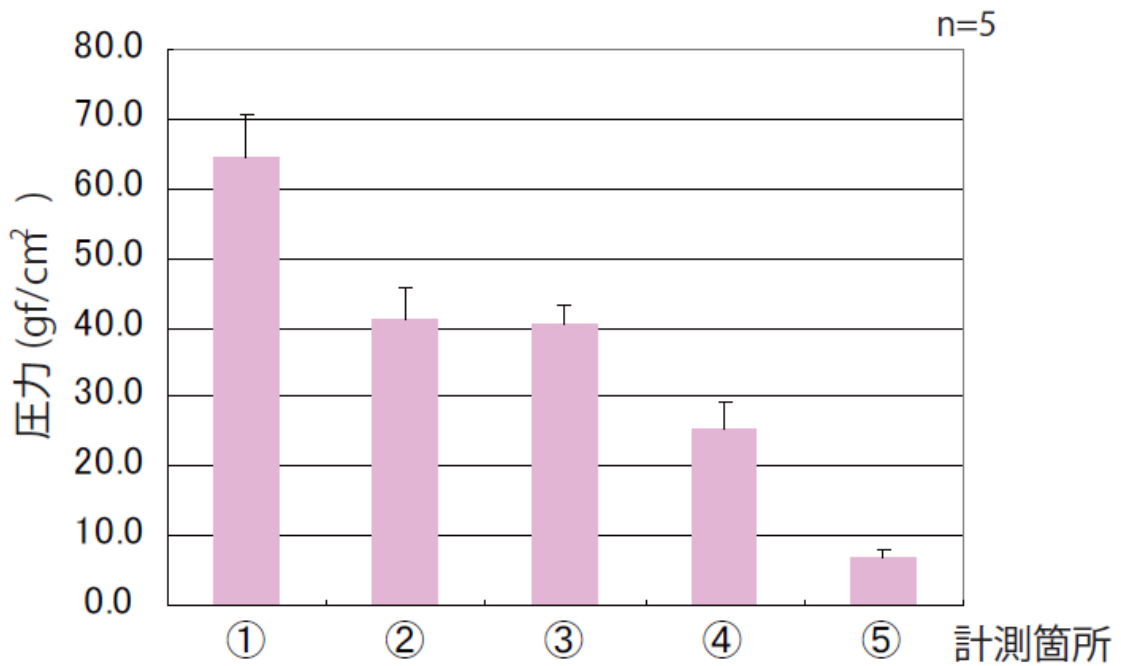


図 3.6 実験 1：着座圧力の平均値結果（着座位）

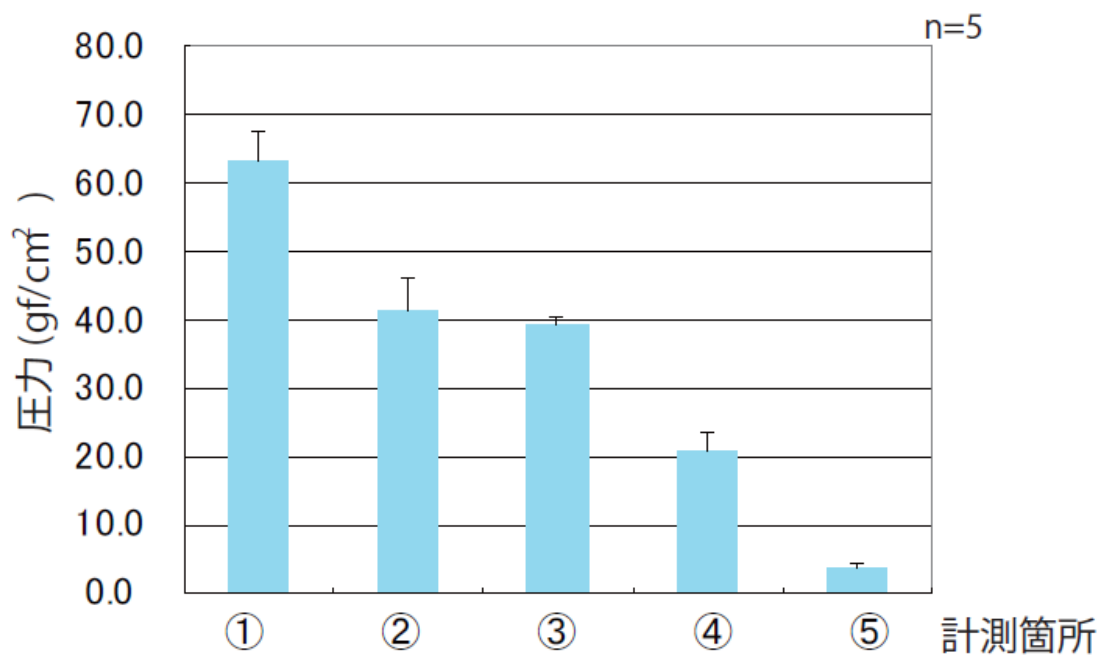


図 3.7 実験 1：立位圧力の平均値結果（立位）

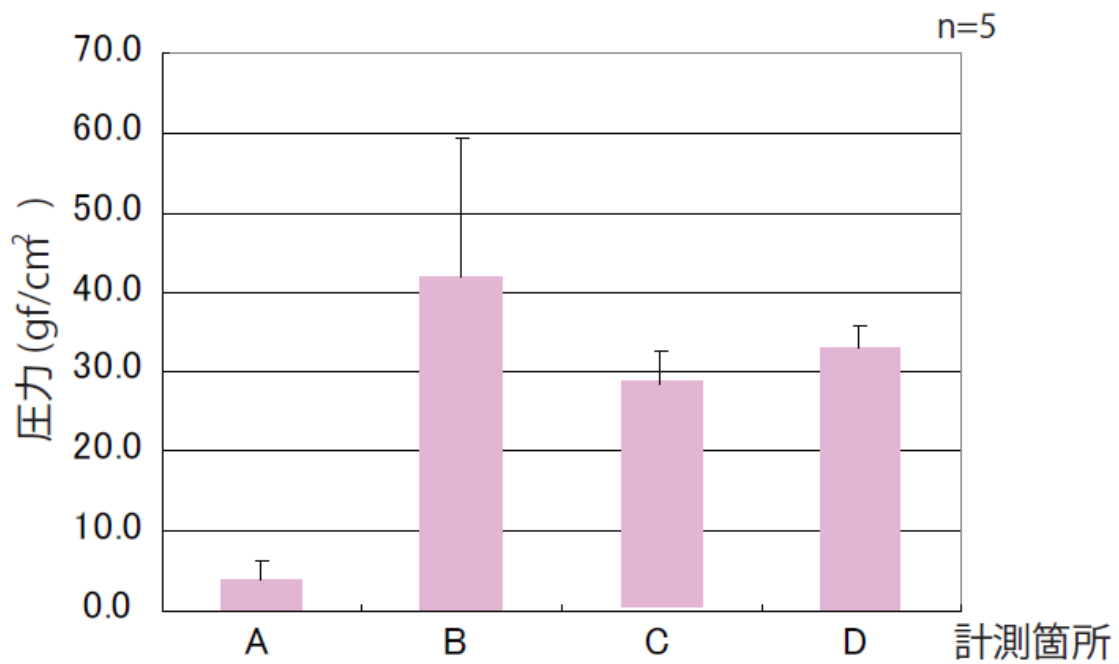


図 3.8 実験 2：着座圧力の平均値結果（着座位）

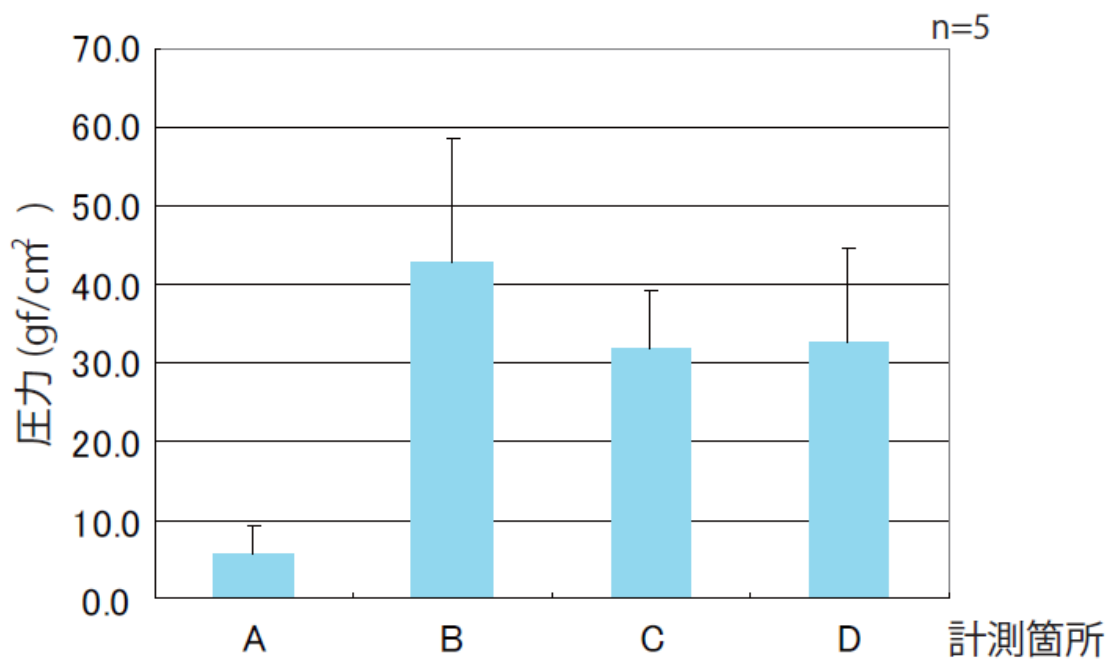


図 3.9 実験 2：立位圧力の平均値結果（立位）

3.4 考察

9箇所の計測結果から、①内側面中央では、圧力の値は一定で立位と着座の姿勢の影響を受けにくいことが明らかとなった。靴紐の締め方で調整できる箇所ではなく、被験者の足の形状に影響を受ける可能性が考えられる。また、⑤外側面中央部では、計測の姿勢や被験者自身の直立姿勢での立ち方(重心位置)の影響を受ける可能性がある。②内側鳩目中央部、④外側鳩目中央部、A土踏まず上端、D外側面中央の4箇所においては、姿勢の違いによる影響を受けにくいことがわかった。しかし、シューズ内の奥であることから位置の特定も難しく計測することが容易でないと考えられる。そして、C外側鳩目最上部において、立位より着座位の結果が、圧力がやや下がる傾向であるが、③足高点(結び目)とB内側鳩目最上部では、姿勢による影響は受けなかった。また、圧力の値も $40\text{gf}/\text{cm}^2$ 前後となり安定した圧力が得られた。

これらの結果と、小型の圧力センサシートを挿入しやすさから、鳩目3箇所の部分は、個人差や試料の違いによる影響を比較的受けにくいと考えられる。また、立位と着座位のについてこの3箇所ではあまり大きな影響がない。そこで、歩行動作は常に立位状態であるため、圧力計測も立位で行うことが適切だと考えられる。

3.5 歩行実験での靴の装着状態の条件

本章の結論として、計測位置としては③足高点(結び目), B内側鳩目最上部, C外側鳩目最上部の3箇所とし、姿勢は立位で圧力計測することが適切だといえる。また、実験を通して得られた圧力値から3箇所ではすべて圧力 $35 \pm 5 \text{ gf/cm}^2$ を目安とするのがよいと考えられる。以降の実験においては、この条件にてシューズの装着状態を同様にする。

第4章 靴の足長サイズの違いが 歩行動作に及ぼす影響

4.1 目的

本章では足長サイズの違い（主に足長サイズが大きくなること）による歩行への影響を，下腿の筋電図や足底圧計測，床反力計測，主観的評価などから定量的に明らかにすることを目的とする．

4.2 方法

4.2.1 試料

実験試料は，図 4.1 に示すニューバランス社製 CM575MB ウィズ D のランニングシューズを（26.0cm/26.5cm/27.0cm/27.5cm/28.0cm）の計 5 サイズを使用した．実験試料の詳細なデータは表 4.1 に示す．また，足長サイズの違いに伴う下腿および歩行動作への影響を検証するために，図 4.1 に赤丸で示した 3 箇所それぞれの圧力を小型の圧力センサシート（ニッタ（株）製 Flexi Force）を用いて $35 \pm 5 \text{gf/cm}^2$ となるように紐の締め方で調節した．



図 4.1 実験試料（○印は圧力計測箇所）

表 4.1 実験試料データ

サイズ 表示	質量(片足)g	アウトソール		インソール	
		足長(mm)	足幅(mm)	足長(mm)	足幅(mm)
26.0	365	285	105	265	98
26.5	372	295	110	275	100
27.0	388	305	115	280	103
27.5	394	315	115	285	105
28.0	405	325	115	290	107



4.2.2 被験者

被験者は健康で足に大きな受傷歴のなく、足長サイズ 26.5cm で足囲サイズウィズ D が適正サイズである被験者 5 名 (年齢 23.6 ± 1.4 歳, 身長 170.6 ± 6.4cm, 体重 62.8 ± 5.2kg) とした。被験者は 5 名とも利き足が右足である。被験者の詳細を表 4.2 に示す。実験に先立ち、実験中に想定される危険や安全への配慮、個人情報管理などに関して説明し同意を得た上で実験を行った。

表 4.2 被験者データ

被験者	年齢	身長(cm)	体重(kg)	足長(mm)	足囲(mm)	足幅(mm)	基準サイズ(cm)
A	25	168	57	255	245	99	26.5
B	23	171	57	257	240	100	26.5
C	24	168	64	255	253	101	26.5
D	25	177	68	258	253	100	26.5
E	21	169	73	258	252	101	26.5

4.2.3 実験試技と計測項目，装置

まず，被験者には裸足の状態になってもらい，足長・足囲・足幅の3つの足部形態計測を行った．その後，実験用として用意した同一の靴下を履いてもらった．筋電図計測は，右足の前脛骨筋と腓腹筋のそれぞれにEMGセンサ（DELSYS社製）を取り付けた．その後，前脛骨筋と腓腹筋それぞれの最大随意筋収縮（MVC）の計測を行った．筋電位データはAD変換器（MP150，BIOPAC System社製）を介し，サンプリング周波数を1000Hzでノートパソコンに収録した．MVCの計測については，徒手筋力測定法に従って，前脛骨筋では足首を垂直に固定した状態から被験者の最大の力で約10秒間背屈運動をしてもった．腓腹筋では，足首を垂直に固定した状態から被験者の最大の力で約10秒間底屈運動をしてもらいMVCの計測を行った¹⁰⁾．その後，基準サイズ(26.5cm)のシューズを履き，直立姿勢の状態で小型の圧力センサシート（ニッタ(株)製 Flexi Force)を用いて，図4.1に示した3箇所の圧力調整を行った後に歩行実験を行った．シューズの紐の締め方調整は試料ごとに歩行試技前に行うこととした．

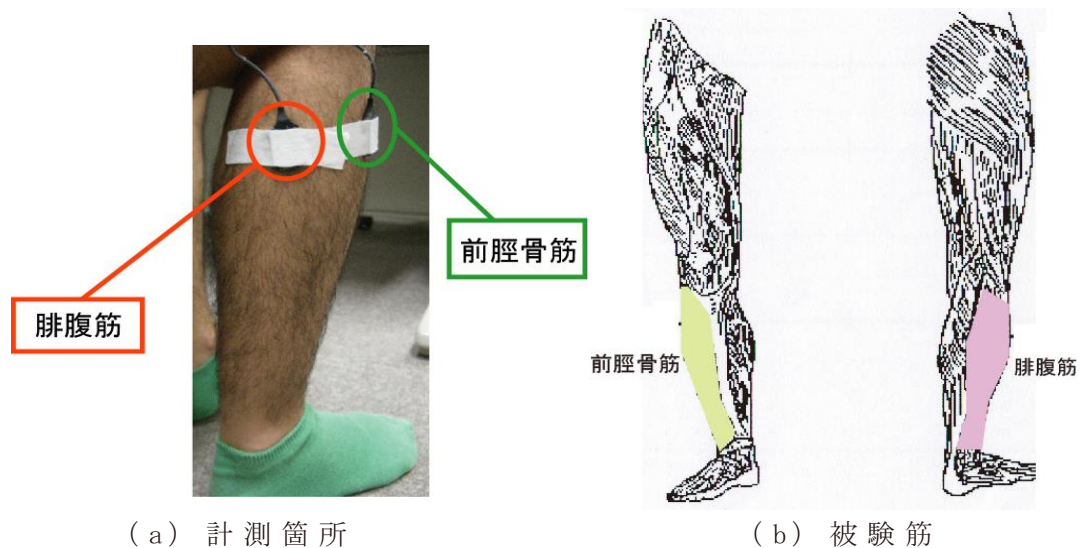


図 4.2 被験筋⁹⁾

図 4.3 に示すように，実験室内に床反力計を配置した約 10m の歩行路を用意し，基準サイズ (26.5cm)，26.0cm，27.0cm，27.5cm，28.0cm の順で 10 回ずつ歩行させた．被験者には，右靴の足底挿板に，足型の圧力センサシート (ニッタ (株)F-scan) を敷いたシューズを履いてもらい，同時に右下腿の前脛骨筋と腓腹筋に EMG センサを装着した．また，歩行路中央に設置した床反力計である 3 点支持型フォースプレート (株式会社ディケイエイチ製) を用いて，立脚期の床反力を計測した．さらに各サイズの実験試技が終了するごとに基準サイズ (26.5cm) を基準とした歩行感覚「蹴り出しやすさ」「履き心地」「衝撃感」「フィット感」の 4 項目について，基準サイズより悪い (-3) ~ 基準サイズより良い (+3) の 7 段階で評価してもらった．

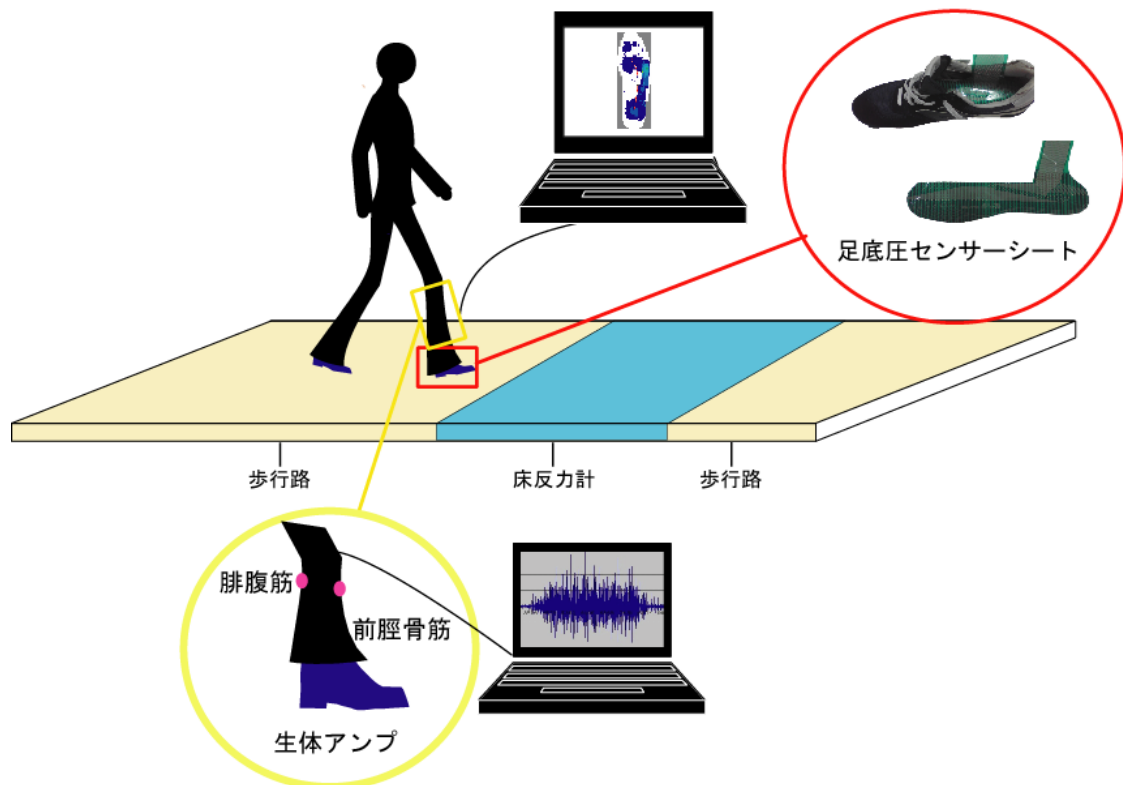


図 4.3 実験の概要

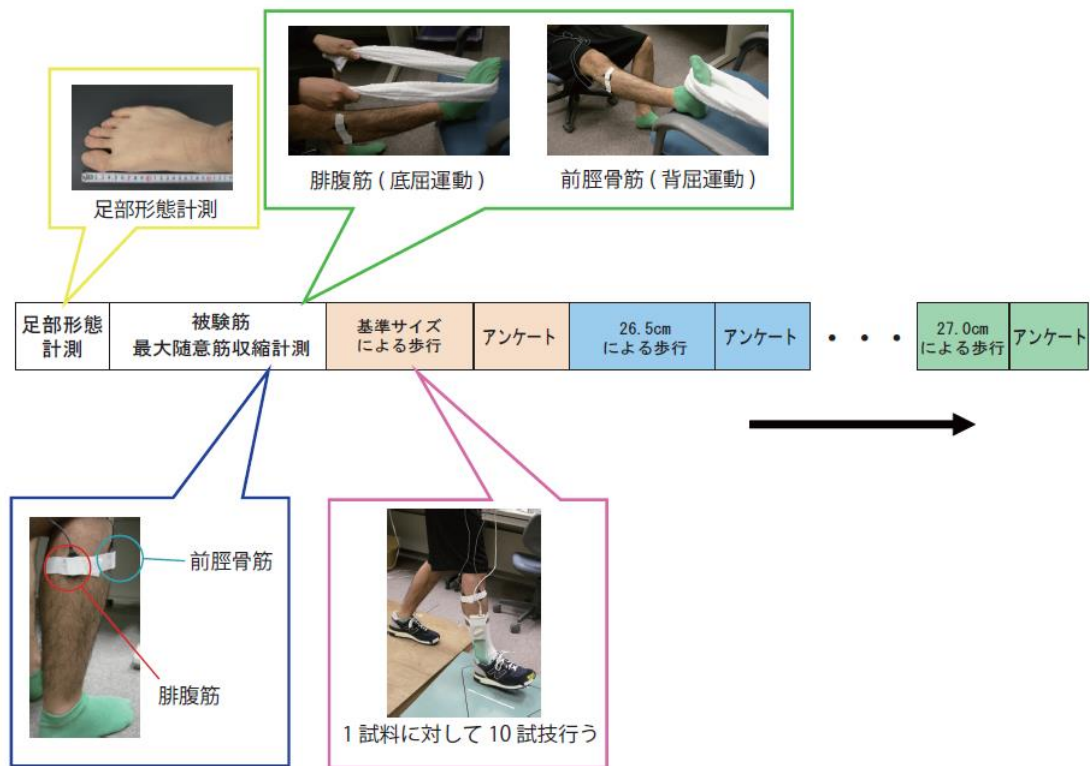


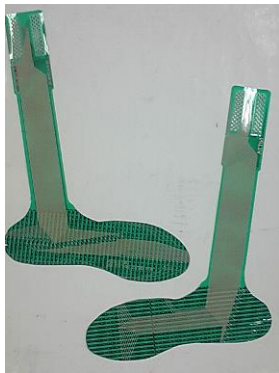
図 4.4 実験プロトコル



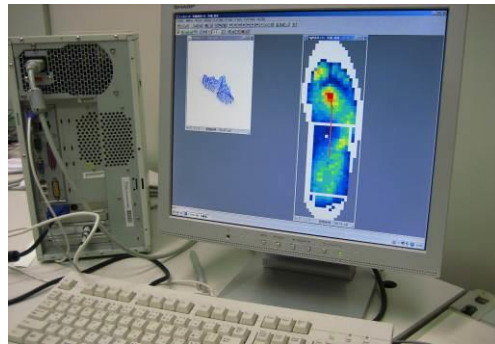
(a) 3点支持型フォースプレート



(b) 筋電計測アンプ



(c) 足底圧センサシート



(d) 足底圧表示画面(PC)

図 4.5 実験装置

フットウェア評価のアンケート(靴) 2009年 月 日

整理番号 年齢 身長 体重

設問1・基準サイズ(26.5cm)を基準にして紐の締め方と靴全体の印象について記入してください
 ①26.0cm (以降②27.0cm, ③27.5cm, ④28.0cm について①と同様の設問)

設問1	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
接地時の衝撃大	----- ----- ----- ----- -----						衝撃小	
蹴り出しにくい	----- ----- ----- ----- -----						蹴り出しやすい	
フィットしていない	----- ----- ----- ----- -----						フィットしている	
履き心地が悪い	----- ----- ----- ----- -----						履き心地が良い	

※太枠内はこちらで記入します

図 4.6 歩行感覚アンケートシート

4.2.4 解析方法

筋電図の解析には数値解析ソフト Mathematica を用いた。また、荷重点移動軌跡がなす面積の算出では MATLAB および Adobe Photoshop を使用した。

◆ 立脚期の前脛骨筋と腓腹筋の %MVC (図 4.7) の算出¹³⁾¹⁴⁾

- ① 立脚期の筋活動量を算出するために、図 4.7 に示す踵着地時からつま先離地時までの筋電位信号を抽出し、整流化した。
- ② ① で求めた値の時間積分和を求めた。
- ③ 徒手筋力測定法にて計測した前脛骨筋と腓腹筋それぞれの最大随意筋収縮 (MVC) データから任意の 1 秒間を取り出し、時間積分和を求めた。
- ④ 単位時間あたりに換算した②を③で除し、各試技の筋活動割合 (%MVC) を算出した。
- ⑤ 被験者ごとに各試料の 10 試技の平均値と標準偏差を求め、各計測量に対して一元配置分散分析を実施し多重比較にて有意差検定 (5%水準) を行い、試料ごとに比較した。統計解析にはエクセル統計 2007 を使用した。

◆ 立脚期の床反力 (図 4.8) のピーク値、接地時間の抽出

- ① 床反力計で計測した踵着地時から蹴り出し時までの立脚期の時間を求めた。
- ② 床反力計の 2 つのピーク値 (図 4.8) に示すように踵着地時のピーク値を F2、蹴り出し時のピーク値を F4 と定義し、それぞれのピーク値を求めた。
- ③ 図 4.8 に示した、位置変曲点を F3 と定義し、踵着地時 (F1) から変曲点 (F3) までの時間と変曲点 (F3) からつま先離地時 (F5) までの時間を求め、試料ごとに比較を行った。また、立脚期全体の時間についても同様に試料ごとに比較を行った。各計測量に対して一元配置分散分析を実施し多重比較にて有意差検定 (5%水準) を行い、試料ごとに比較した。統計解析にはエクセル統計 2007 を使用した。

◆ 荷重点移動軌跡のなす面積の算出(図 4.9) ¹⁵⁾¹⁶⁾

荷重点移動軌跡のなす面積は踵接地時からつま先離地時の荷重点移動軌跡を抽出し解析を行った。床反力のピーク値と接地時間から導き出される情報とは異なり、荷重点移動軌跡は歩行動作(体重移動)とシューズサイズとの関係性を導き出すことが可能だと考えられる。つまり、荷重点移動軌跡のなす面積の解析から、歩行動作(体重移動)の再現性を比較することを通してシューズサイズの適合性を評価できると考えられる。以下が荷重点移動軌跡のなす面積の算出手順である。

- ① F-scanによって得られた立脚期1歩分の荷重点移動軌跡をテキストデータとして抽出した。
- ② テキストデータをMATLABにて、全試技の荷重点移動軌跡について始点を(0, 0)に揃えプロットし、画像データとして保存した(tif形式ファイル)。
- ③ 画像データをAdobe Photoshopにて、100cm×100cmの用紙サイズ、ピクセル数は100(pixel/cm)とし、荷重点移動軌跡によってなす面積を2値化した(黒色化した)。
- ④ 2値化したデータをAdobe Photoshopのツールである、ヒストグラム表示で(100cm×100cmサイズ)で黒色化の部分のピクセル数を読みとり、面積(cm²)に換算した。
- ⑤ 被験者ごとに試料の10試技分の平均値と標準偏差を求め、各計測量に対して一元配置分散分析を実施し多重比較にて有意差検定(5%水準)を行い、試料ごとに比較した。統計解析にはエクセル統計2007を使用した。

◆ 計測量の変動係数の算出

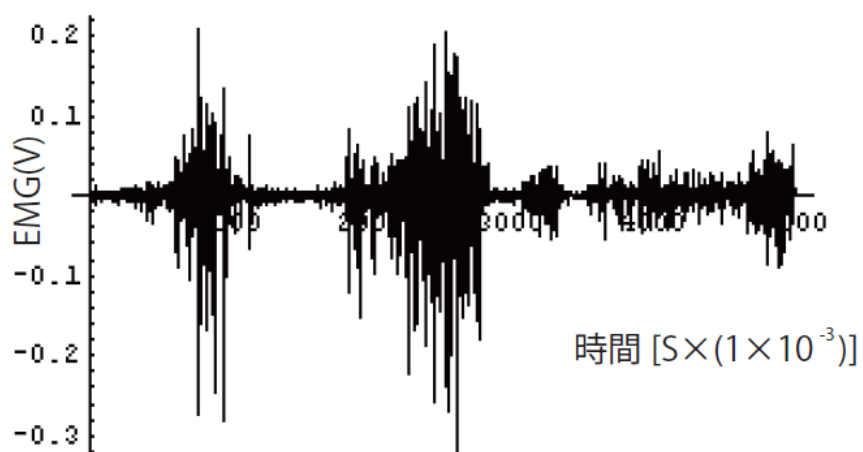
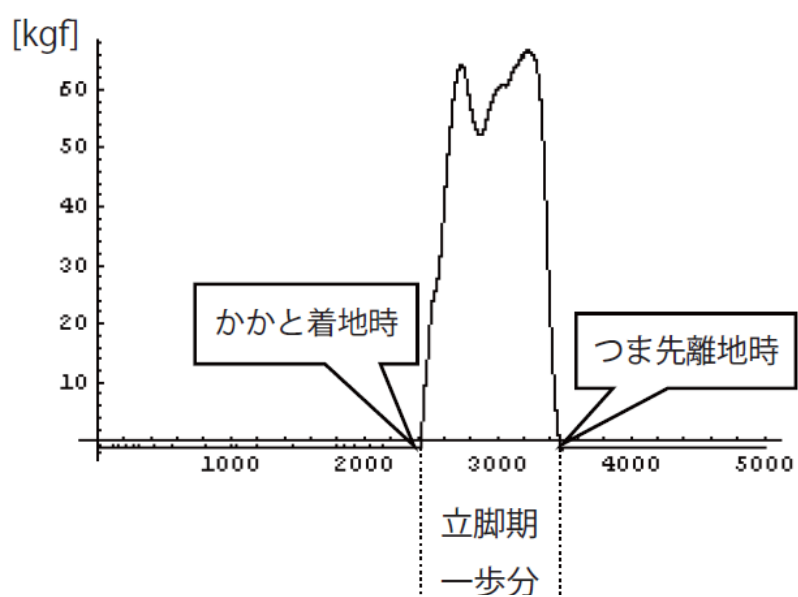
筋電図計測，床反力，荷重点移動軌跡のなす面積のそれぞれの計測データに対して，動作再現性の指標として変動係数を算出した．変動係数は，計測データの平均値を標準偏差で除した値で，値が大きいほど計測量のバラツキが大きく，つまりは歩行動作が一定でない（動作の再現性が低い）と考えられる．各計測量に対して一元配置分散分析を実施し多重比較にて有意差検定（5%水準）を行い，試料ごとに比較した．統計解析にはエクセル統計 2007を使用した．

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}}$$

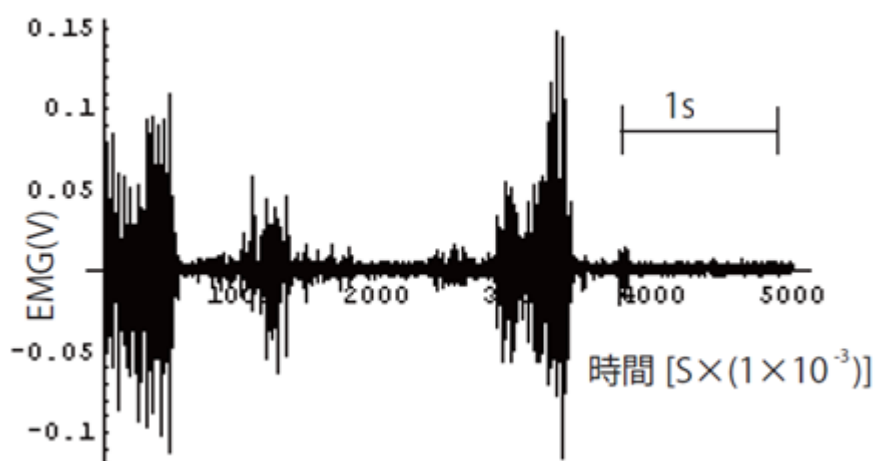
σ : 標準偏差
 \bar{X} : 算術平均
CV : 変動係数

◆ 歩行に対する主観的評価（歩行感覚）

各シューズサイズの試技が終了するごとに基準サイズ（26.5cm）での歩行感覚を基準としたアンケート調査を行った．項目は「蹴り出しやすさ」「履き心地」「衝撃感」「フィット感」の4つである．各項目を得点化し各計測量に対して一元配置分散分析を実施し多重比較にて有意差検定（5%水準）を行い，試料ごとに比較した．統計解析にはエクセル統計 2007を使用した．



(a) 前脛骨筋



(b) 腓腹筋

図 4.7 歩行時の床反力，EMG 波形

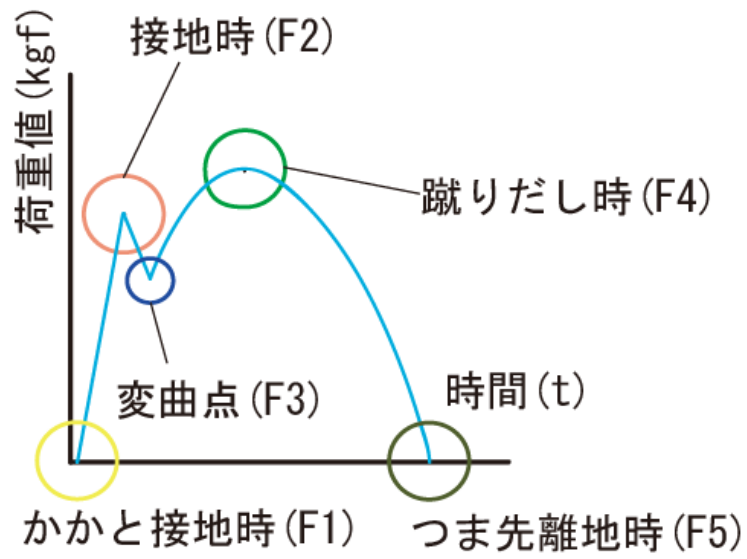


図 4.8 床反力の波形 (定義)

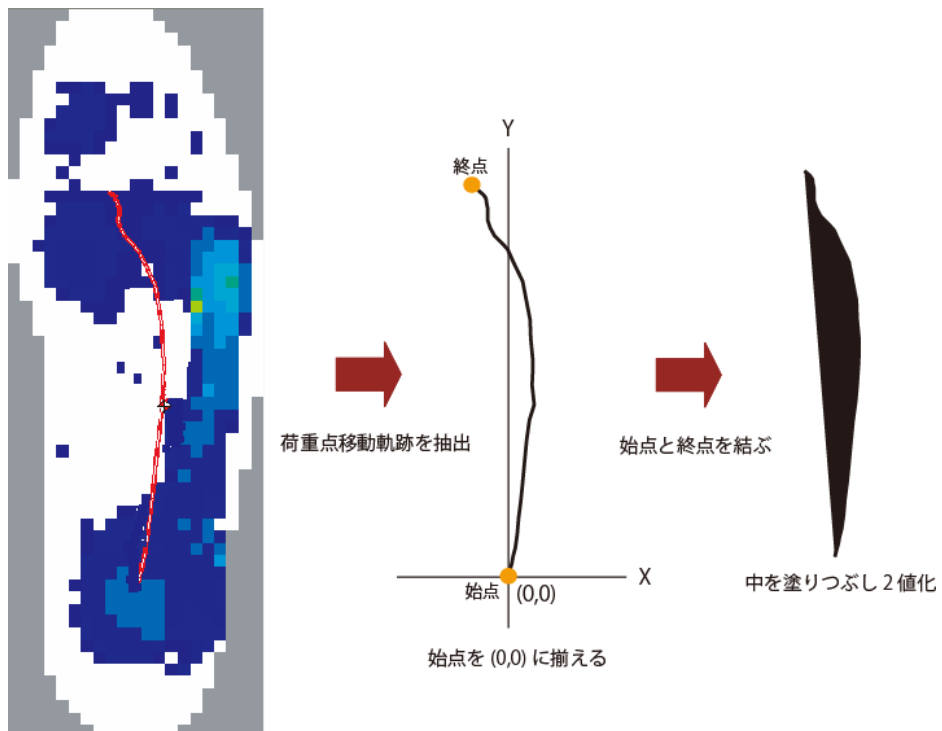


図 4.9 荷重点移動軌跡のなす面積の算出

4.3 結果

◆ 立脚期の前脛骨筋と腓腹筋の%MVCと変動係数について

立脚期における前脛骨筋と腓腹筋の積分筋電位（筋活動量）の平均値（被験者5名×10試技）と標準偏差を図4.10に、また積分筋電位の変動係数を図3.11に示す。

図4.10より、足長サイズが基準サイズ(26.5cm)より1cm以上大きい27.5cmおよび28.0cmの場合に、腓腹筋の積分筋電位は基準サイズ(26.5cm)よりも有意($p < 0.05$)に大きかった。また、前脛骨筋においても同様に足長サイズが1cm以上大きい27.5cmと28.0cmの靴では基準サイズ(26.5cm)よりも有意($p < 0.05$)に大きい結果であった。

図4.11より、足長サイズが基準サイズ(26.5cm)よりも1cm以上大きい27.5cmおよび28.0cmの場合に、前脛骨筋と腓腹筋の変動係数が基準サイズよりも有意($p < 0.05$)に大きくなった。

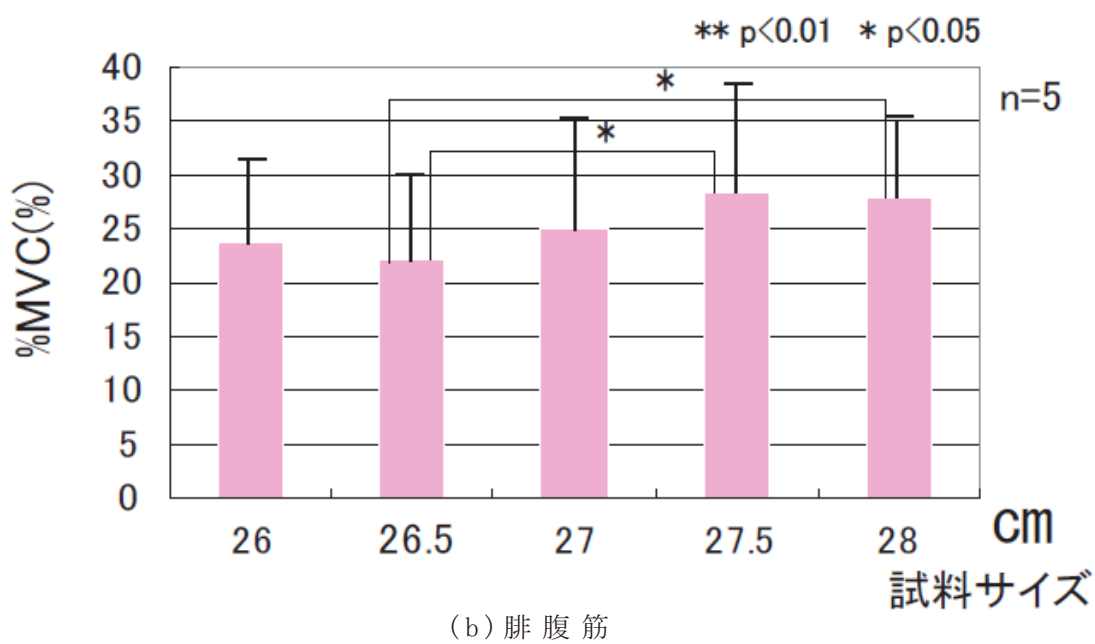
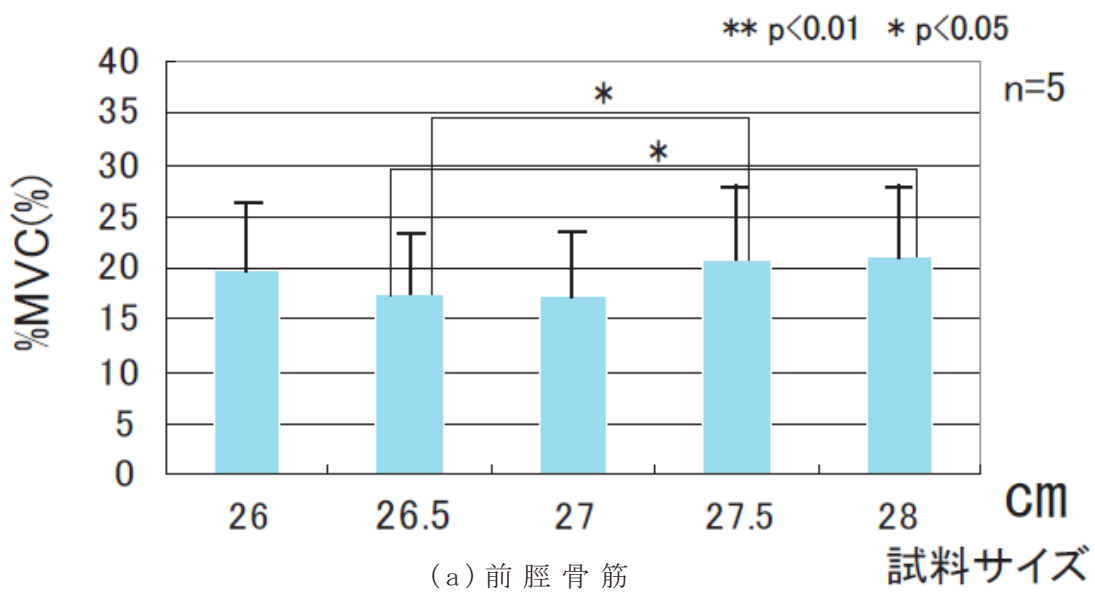
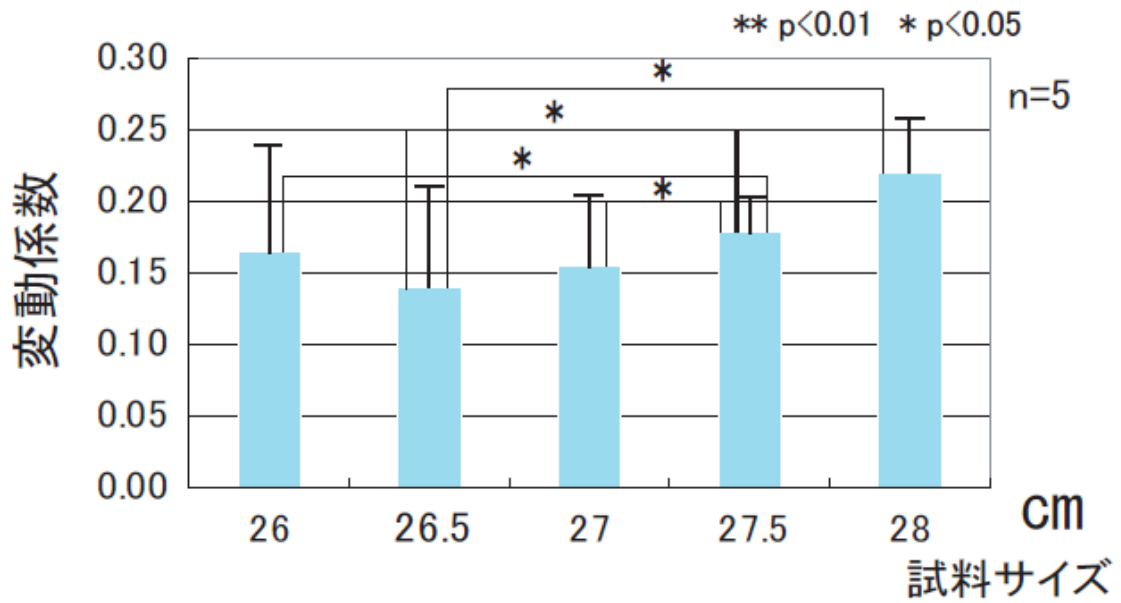
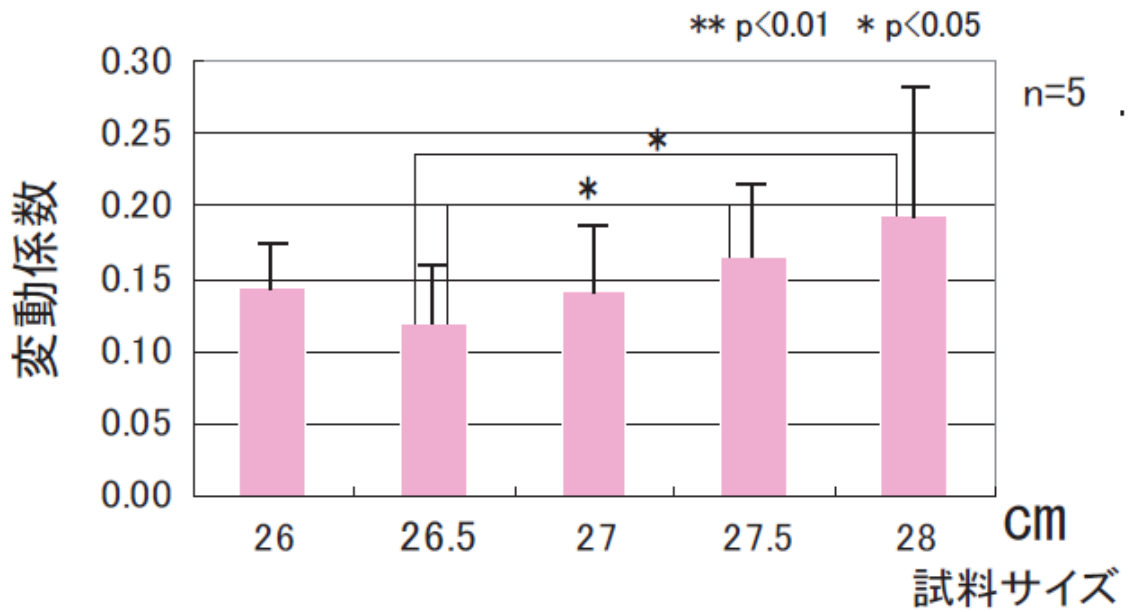


図 4.10 立脚期の積分筋電位の平均値



(a) 前脛骨筋



(b) 腓腹筋

図 4.11 立脚期の積分筋電位の変動係数の平均値

◆ 立脚期の床反力ピーク値と接地時間について

接地時 (F2) および蹴り出し時 (F4) の床反力の平均値の結果を図 4.12 に、立脚期全体の時間の平均の結果を図 4.13 に、また、踵着地時 (F1) から変曲点 (F3) までの時間と変曲点 (F3) からつま先離地時 (F5) までの時間の結果を図 4.14 に示す。さらに、接地時 (F2) と蹴り出し時 (F4) の変動係数を図 4.15(a) に、立脚期の時間の変動係数を図 4.15(b) に、踵着地時 (F1) から変曲点 (F3) までの時間と変曲点 (F3) から蹴り出し時 (F5) までの時間の変動係数を図 4.15(c) に示す。

図 4.12 の接地時 (F2) および蹴り出し時 (F4) の床反力の平均値の結果では、足長サイズが基準サイズ (26.5cm) より 1cm 以上大きい場合、接地時 (F2) については 26.0cm に比べて 28.0cm の場合が、また基準サイズ (26.5cm) に比べ 28.0cm の場合が有意 ($p < 0.05$) に小さかった。蹴り出し時 (F4) では基準サイズ (26.5cm) に比べ 28.0cm で有意 ($p < 0.05$) に小さかった。

図 4.13 の立脚期全体の時間の平均値では、足長サイズが基準サイズ (26.5cm) より 1cm 以上大きい時、26.0cm に比べて 26.5cm の場合は有意 ($p < 0.05$) に時間が長く、同様に、27.0cm と 27.5cm および 28.0cm では有意 ($p < 0.01$) に時間が長くなっていた。また、基準サイズ (26.5cm) に比べ 27.5cm の場合は有意 ($p < 0.05$) に時間が長くなり、28.0cm の場合でも有意 ($p < 0.01$) に時間が長くなった。これらの結果から、足長サイズが基準サイズ (26.5cm) より大きくなることで立脚期の接地時間が長くなることが明らかになった。

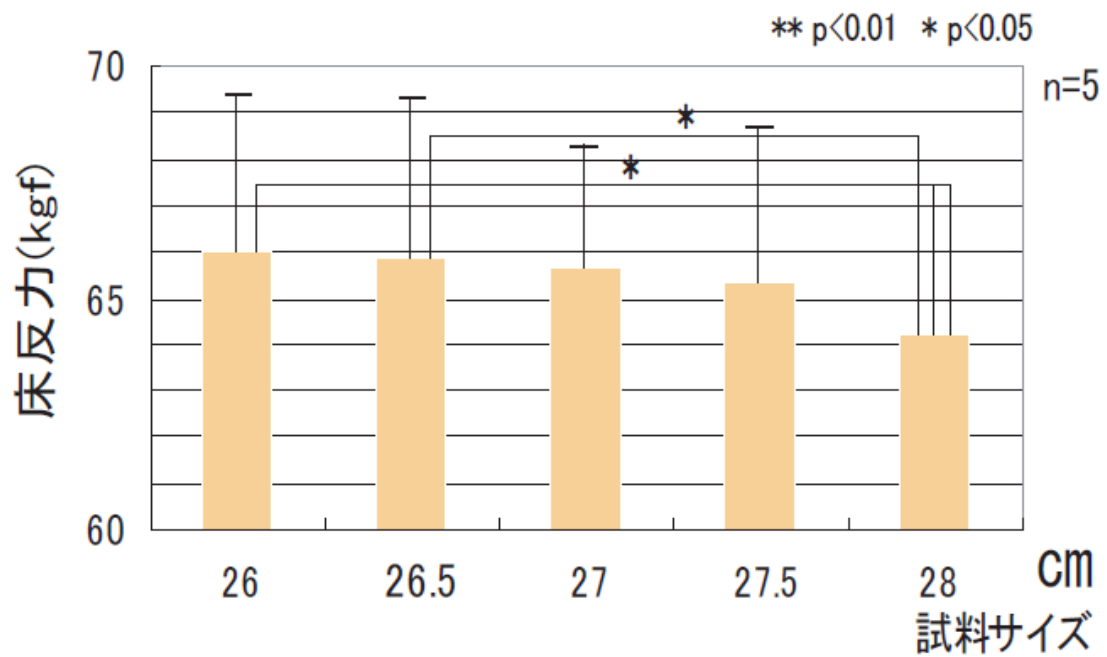
図 4.14 の踵着地時 (F1) から変曲点 (F3) までの時間の平均と変曲点 (F3) からつま先離地時 (F5) までの時間の結果より、着地時 (F1) から変曲点 (F3) では、26.0cm に比べ、27.5cm および 28.0cm の場合は有意 ($p < 0.05$) に時間が長くなった。しかし、F1 から F3 では基準サイズ (26.5cm) よりサイズが大きくなることで時間が長くなる傾向はみられたが、有意な差は認められなかった。これは、踵着地時では、サイズ不適合の影響を受けにくいことを示している。

次に、変曲点 (F3) からつま先離地時 (F5) までの時間については、足長サイズが基準サイズ (26.5cm) に対して、27.5cm で有意 ($p < 0.05$) に時間が長くなり、28.0cm の場合は有意 ($p < 0.01$) に時間が長くなった。また、26.0cm に対して基準サイズ (26.5cm) の場合に有意 ($p < 0.05$) に時間が長くなり、また 27.0cm と 27.5cm および 28.0cm において有意 ($p < 0.01$) に時間が長くなった。この結果から、足長サイズが大きくなるに伴い立脚期において蹴り出し動作時 (F3 から F5) に影響 (長時間化) を与えている。

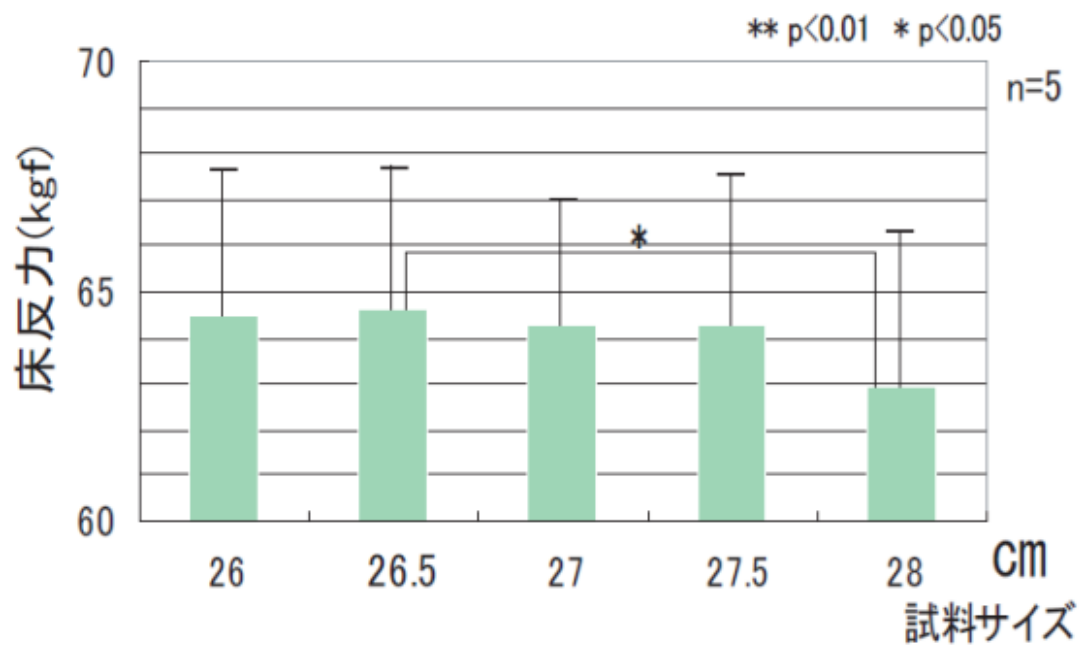
図 4.15-1 より，接地時 (F2) の床反力の変動係数では，足長サイズが基準サイズ (26.5cm) に対して 28.0cm の場合に有意 ($p < 0.05$) に大きくなり，27.0cm と 27.5cm に対して 28.0cm の場合も同様に有意 ($p < 0.05$) に大きくなった．また，蹴り出し時 (F4) の床反力の変動係数においては，足長サイズが基準サイズ (26.5cm) に対して 0.5cm 以上サイズが大きくなることで有意 ($p < 0.05$) に大きくなった．27.0cm および 27.5cm も 28.0cm に対して有意 ($p < 0.05$) に大きくなった．

次に，図 4.15-2 および図 4.15-3 から，立脚期の時間と着地時 (F1) から変曲点 (F3) までの時間および変曲点 (F3) からつま先離地時 (F5) の時間においては基準サイズに対してすべての試料に対して有意な差はみられなかった．

この結果から，歩行動作の再現性を示す変動係数の値が，特に蹴り出し時 (F2) において有意な差がみられたことから足長サイズが大きくなることで，蹴り出し動作にバラツキ (動作再現性の低下) が出ることを示唆された．



(a) 接地時 (F2)



(b) 蹴り出し時 (F4)

図 4.12 接地時 (F2) および 蹴り出し時 (F4) の床反力の平均値

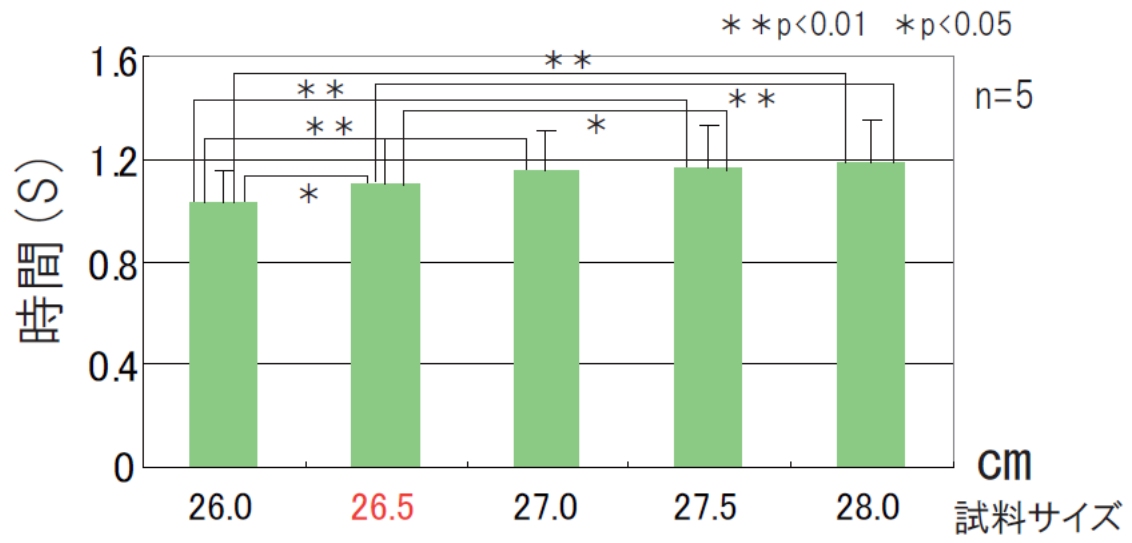
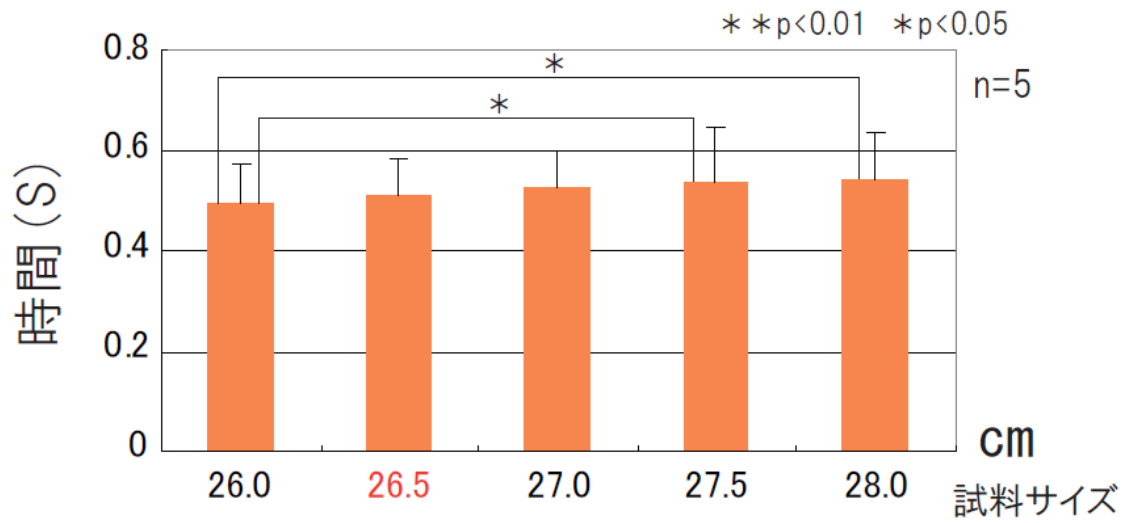
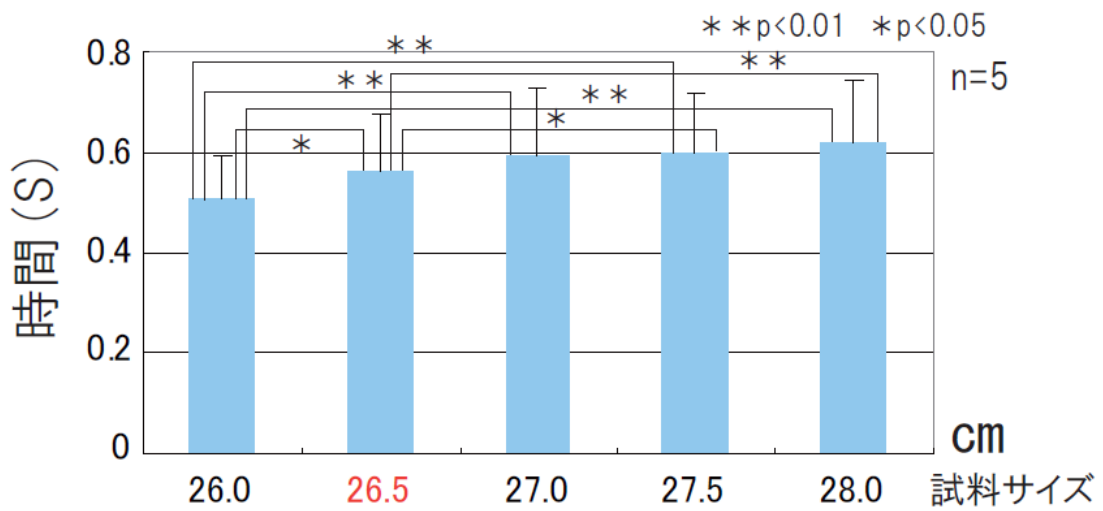


図 4.13 立脚期全体の時間の平均値

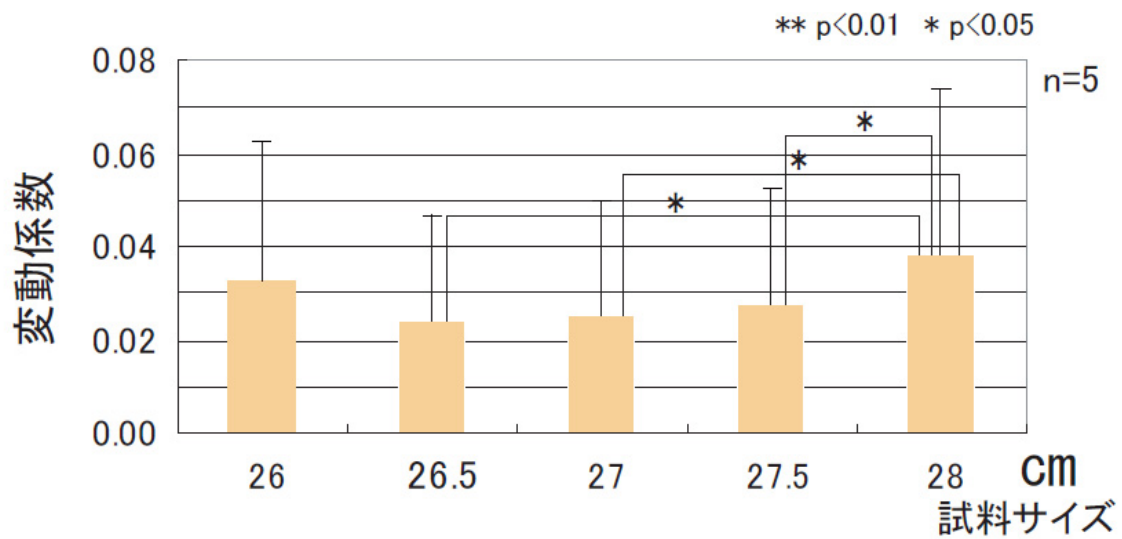


(a) F1 から F3 までの時間

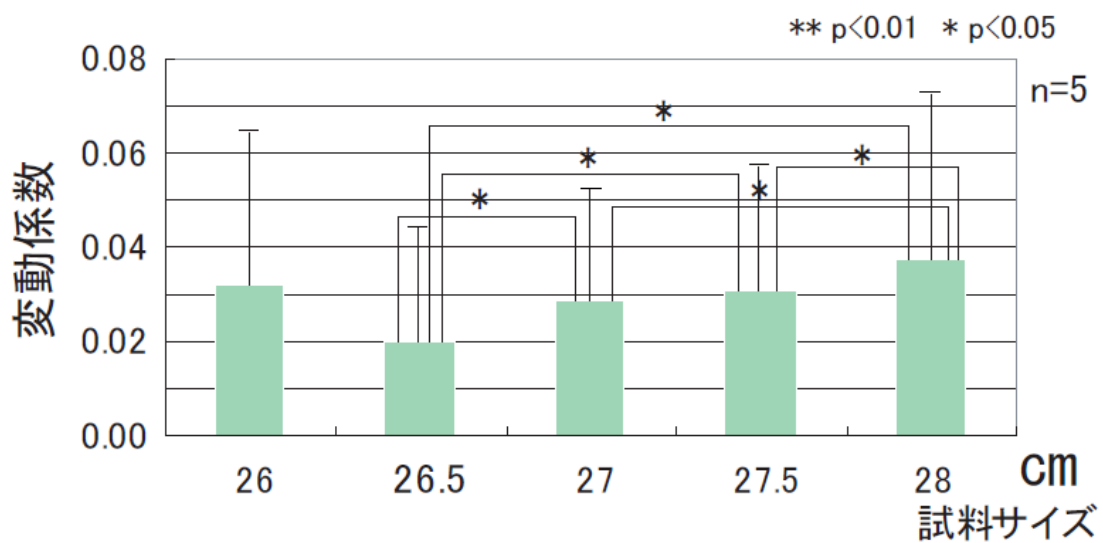


(b) F3 から F5 までの時間

図 4.14 F1 から F3 の時間の平均と F3 から F5 までの時間の平均値



(a) 接地時 (F2)



(b) 蹴り出し時 (F4)

図 4.15-1 接地時 (F2) および 蹴り出し時 (F4) の 床反力の変動係数

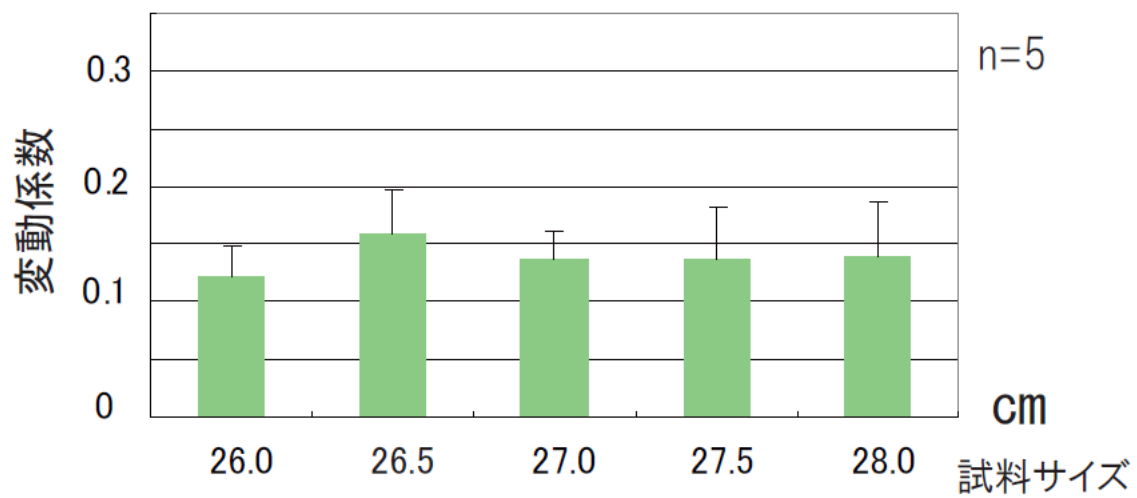
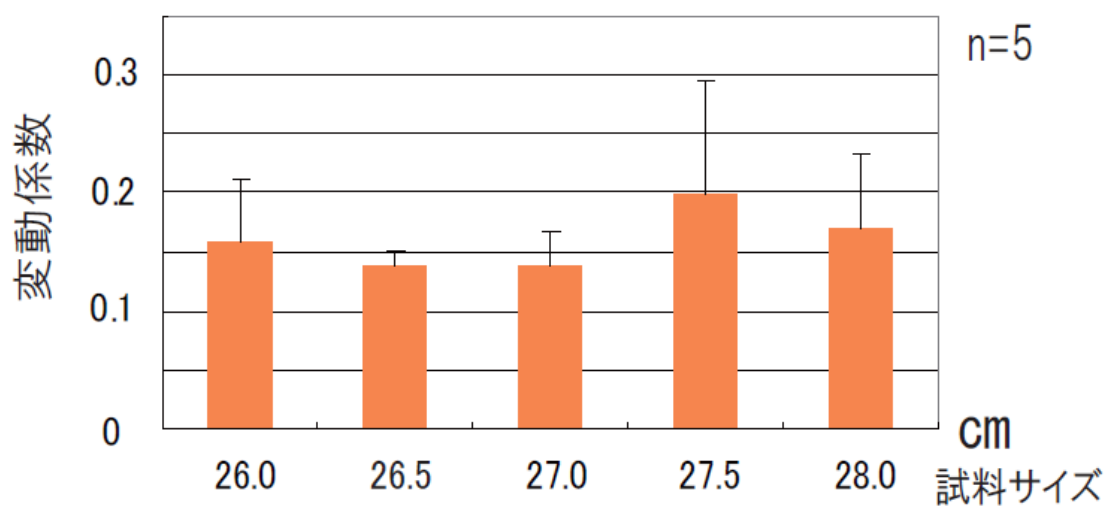
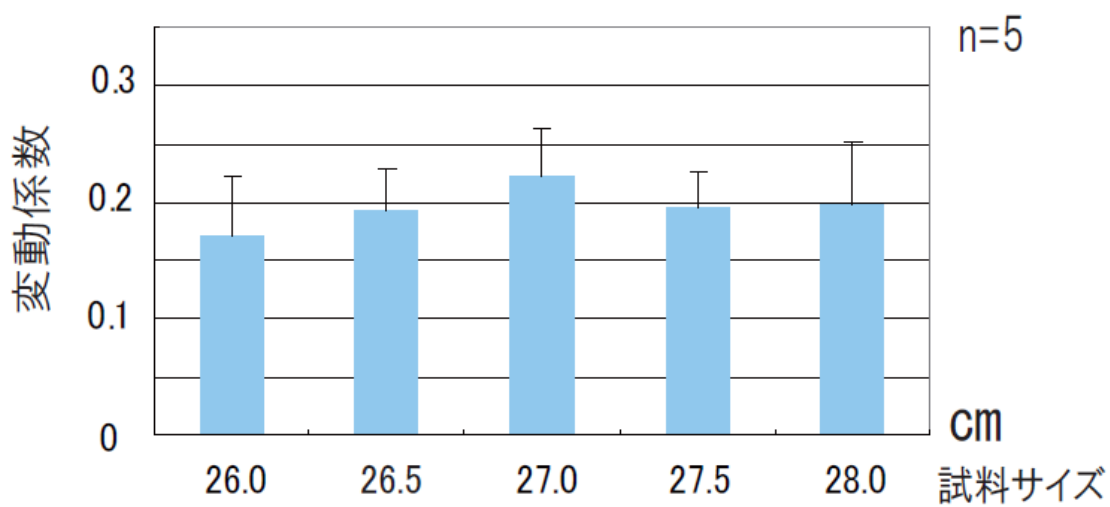


図 4.15-2 立脚期の時間の変動係数の結果



(a) F1 から F3 までの時間



(b) F3 から F5 までの時間

図 4.15-3 F1 から F3 の時間と F3 から F5 までの時間の
変動係数

◆ 荷重点移動軌跡のなす面積について

F-scan によって得られた立脚期の荷重点移動軌跡のなす面積の平均値と標準偏差を図 4.16 に，それぞれの荷重点移動軌跡のなす面積の変動係数を図 4.17 に示す．

図 4.16 に示す荷重点移動軌跡のなす面積については，基準サイズ(26.5cm)と比較し 27.5cm および 28.0cm の靴について面積が有意 ($p < 0.05$) に増加することが認められた．つまり，基準サイズ(26.5cm)での歩行時よりも歩行動作の再現性が低いといえる．

また，図 4.17 に示す 動作の再現性の指標となる変動係数については，26.0cm と 26.5cm に対して 27.5cm が有意 ($p < 0.05$) に大きくなった．つまり，26.0cm あるいは基準サイズ(26.5cm)に比べ 1cm 大きい 27.5cm を履いた場合，歩行動作が一定でなくなる（歩行動作の再現性が低い）といえる．

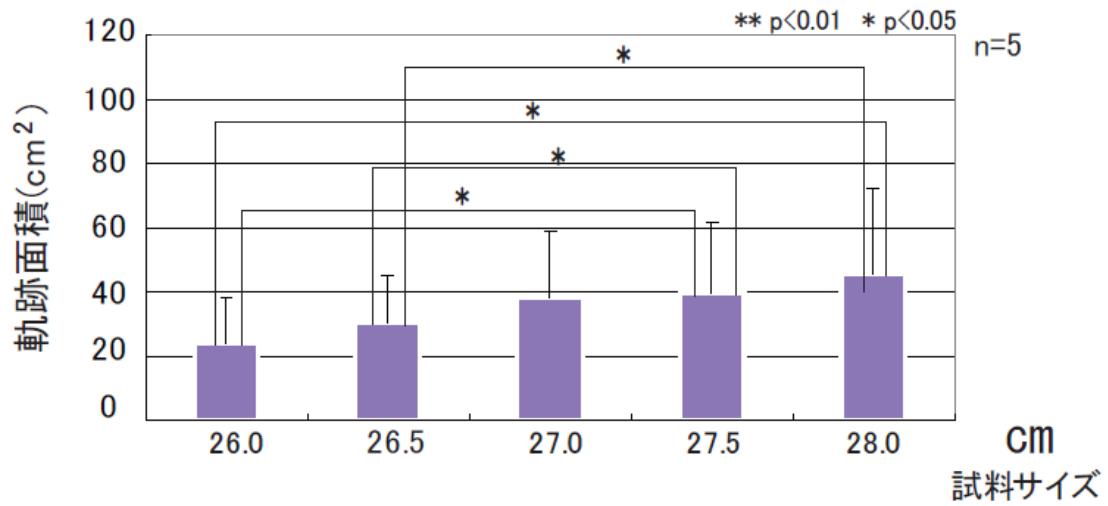


図 4.16 試料サイズと荷重点移動軌跡のなす面積の平均の関係

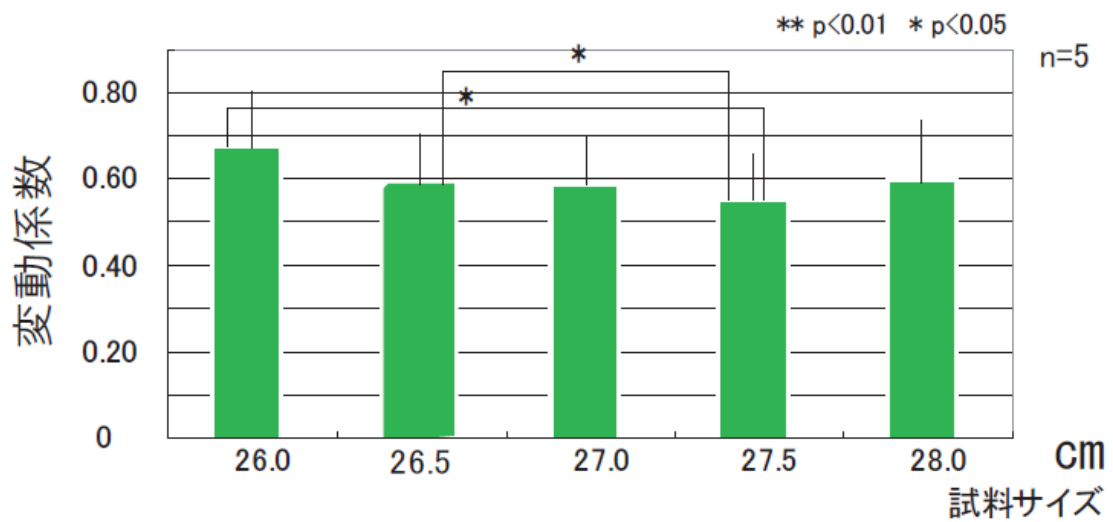


図 4.17 荷重点移動軌跡のなす面積の変動係数

◆ 歩行感覚について

歩行感覚である「蹴り出しやすさ」「フィット感」「履き心地」「衝撃感」の4項目について平均値と標準偏差の結果を図4.18(a), (b), (c), (d)に示す。

図4.18(a)に示す、「蹴り出しやすさ」の結果では、足長サイズが基準サイズ(26.5cm)に対して、26.0cmでは有意($p < 0.01$)に蹴り出しやすくなった。また、足長サイズが大きいすべての試料において有意($p < 0.01$)に蹴り出しにくくなった。

図4.18(b)に示す、「フィット感」の結果では、足長サイズが基準サイズ(26.5cm)に対して、26.0cmでは有意($p < 0.01$)にフィット感が悪くなった。また、足長サイズが大きいすべての試料において有意($p < 0.01$)にフィット感が悪くなった。また、27.0cmに対して28.0cmにおいて有意($p < 0.01$)にフィット感が悪くなり、また27.5cmに対して28.0cmが有意($p < 0.05$)にフィット感が悪くなった。

図4.18(c)に示す、「履き心地」では、足長サイズが基準サイズ(26.5cm)に対して、足長サイズが大きいすべての試料において有意($p < 0.01$)に履き心地が悪くなった。また、26.0cmに対して28.0cmにおいて有意($p < 0.01$)に履き心地が悪くなり、27.0cmおよび27.5cmに対して28.0cmにおいて有意($p < 0.05$)に履き心地が悪くなった。

図4.18(d)に示す、「衝撃感」では、足長サイズが基準サイズ(26.5cm)に対して、サイズが大きくなることで、衝撃が小さく感じる傾向がみられた。

以上のことから歩行感覚である「蹴り出しやすさ」「フィット感」「履き心地」に関する評価では、基準サイズ(26.5cm)よりも足長サイズが大きく(0.5cm以上)なることで、この3項目の評価は有意に悪くなることがわかった。しかし、「衝撃感」については、この3項目とは異なり評価結果が良くなる傾向がみられた。

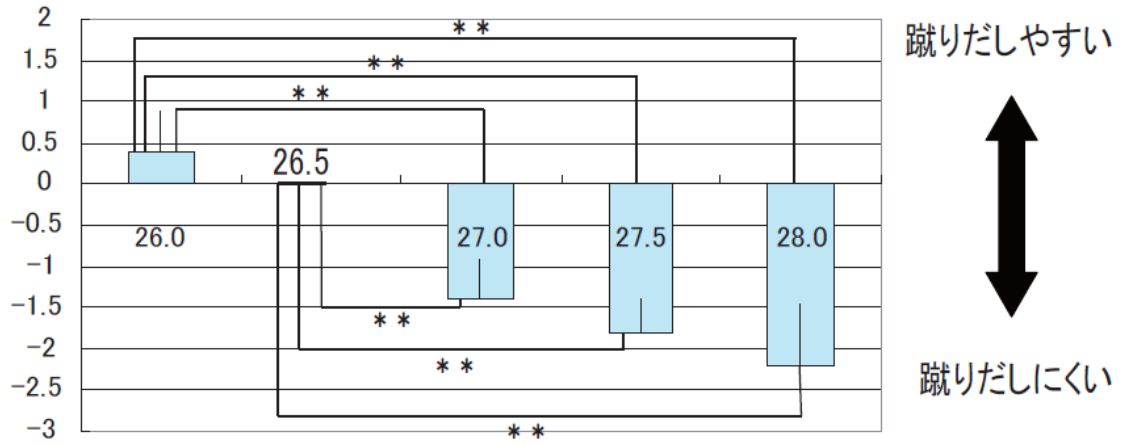


図 4.18(a) 試料サイズと蹴り出しやすさに関する主観評価の関係

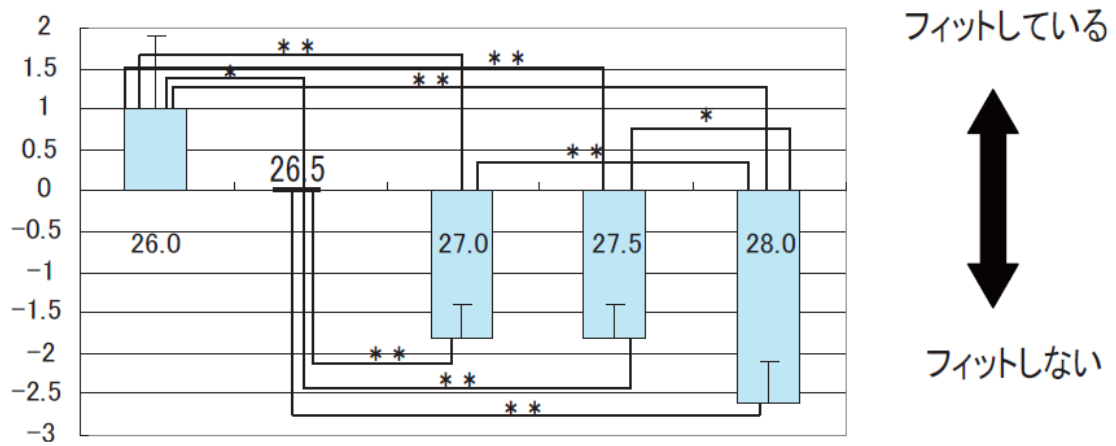


図 4.18(b) 試料サイズとフィット感に関する主観評価の関係

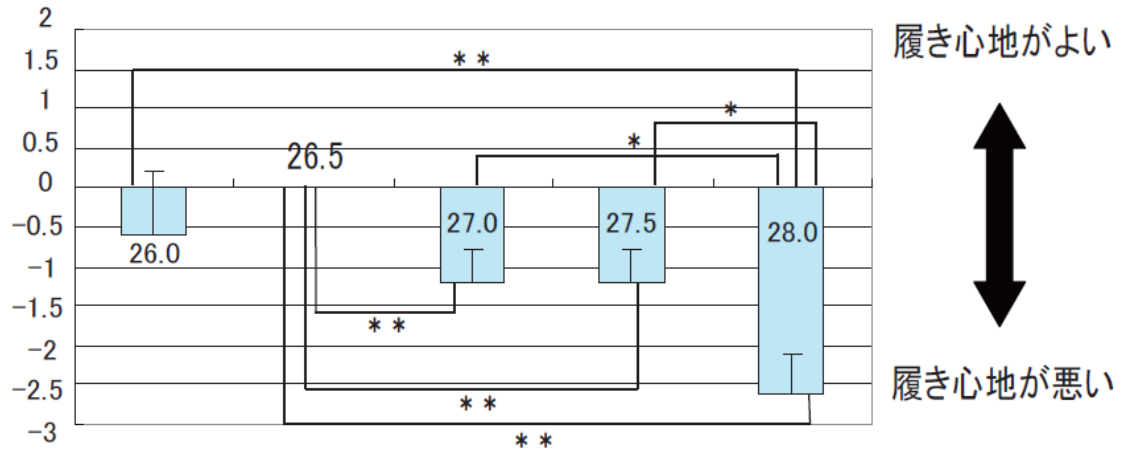


図 4.18(c) 試料サイズと履き心地に関する主観評価の関係

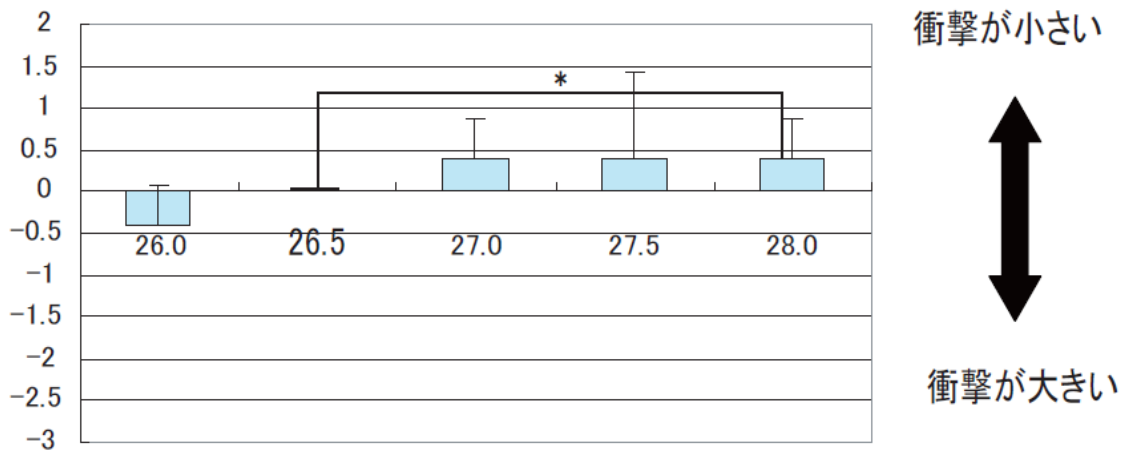


図 4.18(d) 試料サイズと衝撃感に関する主観評価の関係

4.4 考察

(1) 立脚期の筋活動について

足長サイズが基準サイズ(26.5cm)より1cm以上大きくなると腓腹筋の活動が大きくなることから脚(下腿)への負担が増加することが明らかとなった。また、筋活動量の変動係数についても大きくなることから、足長サイズが基準サイズ(26.5cm)より大きくなることで、歩行動作の再現性も低下するといえる。この原因としては、シューズの足長サイズが大きくなることで蹴り出し動作時にシューズ内で足が前後に滑ることが考えられる。実験の結果から、立脚期中期である全接地時と立脚期後期の蹴り出し局面の2局面において滑りが生じていると考えられる。立脚期中期である全接地時には足はシューズ内で前方方向に滑り、立脚期後期の蹴り出し時には足は後方方向に滑る可能性がある。その中で、特に腓腹筋の活動量が増加することから足長サイズが大きくなることで立脚期後期の蹴り出し動作において、シューズ内で足の後方への滑りが生じ蹴り出す力をロスするが、いつもと同様の推進力を得ようとして腓腹筋の筋活動量を増加させる可能性が考えられる。また、筋活動量の変動係数も大きくなることから、基準サイズより足長サイズが大きくなること歩行動作もバラつき(歩行動作の再現性の低下)に繋がっていると考えられる。以上のことから、歩行動作が基準サイズよりも大きな足長サイズを履くと歩行動作が通常以上にバラつき、下腿の筋活動が大きくなる。つまり歩行時の下腿の筋負担が増えることが明らかになった。

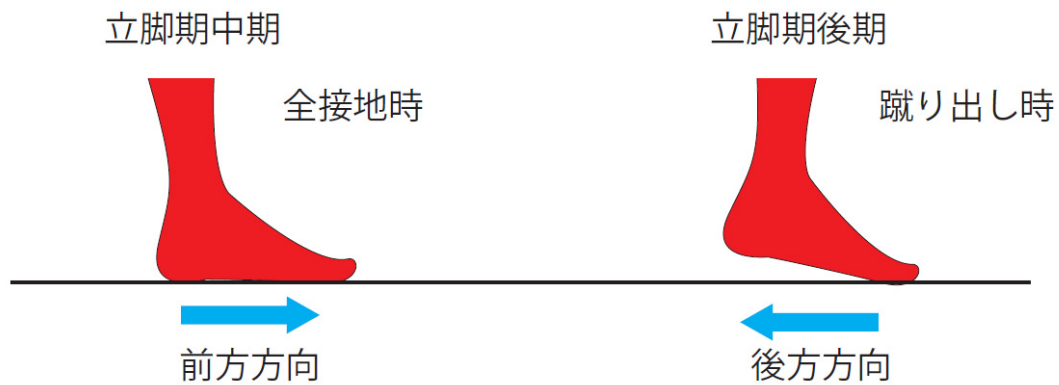


図 4.19 立脚期中期および後期の前後方向への滑り

(2) 立脚期の床反力と接地時間

立脚期の床反力の結果では，足長サイズが基準サイズ(26.5cm)より大きくなることで蹴り出し時の床反力ピーク値が小さくなる傾向がみられた．また，接地時間においては変曲点(F3)からつま先離地時(F5)の時間が足長サイズが基準サイズ(26.5cm)から大きくなることで有意に長くなっていた．これらの原因としては，足長サイズが基準サイズ(26.5cm)よりも大きくなると蹴り出し動作時にシューズ内で足が後方方向への滑ることが考えられる．

荷重点移動軌跡のなす面積と合わせて考えると，足長サイズが基準サイズ(26.5cm)より大きくなることで，蹴り出し時にシューズ内で足が後方方向に滑り，蹴り出し動作にかかる時間が長くなっていると考えられる．ここで，蹴り出し時の力積は同じだとすれば，蹴り出し時間が長くなる分，床反力のピーク値が小さくなると考えられる．

(3) 歩行動作の再現性について

足長サイズが基準サイズ(26.5cm)より 1cm 以上大きい場合、荷重点移動軌跡がなす面積が有意に大きくなっていた。3章で述べた通り、シューズの装着状態を同様にしてているが、足長サイズが大きくなることで立脚期中期である全接地時にシューズ内で足が前方方向に滑り、さらに立脚期後期の蹴り出し動作時に後方に滑ることで、荷重点移動軌跡が長くなり、荷重点移動軌跡のなす面積が大きくなる考えられる。このことから、荷重点移動軌跡のなす面積が大きくなると考えられる。また、シューズサイズ以外の要因として考えられるのは靴下や足底挿板等だが、本実験においては被験者には同じソックスを着用させ、足底挿板も全てのサイズにおいて標準搭載されている同様の足底挿板にて実験を行っていることから、これらが実験結果に影響した可能性は極めて低い。したがって、足長サイズが大きくなることで特にシューズ内で蹴り出し動作時に後方方向に足が滑ってしまうことが原因で同じ歩行動作を行うことができにくくなる（歩行動作の再現性が低下する）と考えられる。

(4) 歩行感覚について

歩行感覚についてのアンケート結果から、シューズの足長サイズが大きくなると「蹴り出しやすさ」の評価が低下した。この点に関しても、シューズ内で足が滑りを被験者が感じることで基準サイズでの歩行動作に比較して蹴り出しづらいという心理的影響が出るのではないかと考えられる。また「衝撃感」については、この3項目とは異なり評価結果が良くなる傾向がみられた。評価結果が良くなるのは、足長サイズが大きくなることで膝や足首に伝わる衝撃をシューズ自体が緩衝している可能性が考えられる。

4.5 まとめ

◆ 足長サイズの違いによる歩行動作への影響について

足長サイズが基準サイズ(26.5cm)より大きくなることで以下の現象がみられた。

- ・ 腓腹筋の積分筋電位（筋活動量）が大きくなり，脚（下腿）への負担が増加する。
- ・ 荷重点移動軌跡のなす面積が大きくなる。
- ・ 足長サイズが大きくなることで立脚期の時間は長くなる。特に変曲点(F3)からつま先離地時(F5)の時間が長くなる。
- ・ 床反力の値(F4)が小さくなる。
- ・ 歩行感覚においては「蹴り出しやすさ」「フィット感」「履き心地」評価が低下する。

これらの原因として考えられるのは足長サイズが基準サイズ(26.5cm)より大きくなると全接地時および蹴り出し時にシューズ内で足が滑ってしまうことである。つまり，シューズの足長サイズが大きくなると蹴り出し時にシューズ内での立脚期中期である全接地時には足はシューズ内で前方方向に滑り，立脚期後期の蹴り出し時には足は後方方向へ滑る。滑らない時と同様には蹴り出せず歩行動作の再現性は低下し，荷重点移動軌跡も一定ではなくなる。結果として，推進力を補うため蹴り出し動作に関わる腓腹筋の筋活動量は大きくなり，下腿への負担が増加すると考えられる。このように機能的な適合性を評価する場合は，立脚期の筋活動や床反力等の計測を用いて行っていくことは有効だといえる。

本章で行った足長サイズに注目して検証を行ったが，次章では足囲サイズの影響について検討していく。

第5章 靴の足囲サイズの違いが 歩行動作に及ぼす影響

5.1 目的

一般的にシューズでは足囲サイズ（横幅および周囲長）が大きくなることでシューズの前足部の容積も合わせて大きくなる。本章では，足囲サイズが適合サイズよりも大きくなることの歩行への影響を立脚期における下腿の筋電図や足底圧，床反力，主観的評価などから定量的に調べ，足囲サイズと歩行動作との関係を明らかにすることを目的とする。

5.2 方法

5.2.1 試料

実験試料にはニューバランス社製ランニングシューズ MR749J の足長サイズは 26.5cm でウィズが D/2E/4E の 3 種類である。第 2 章にて設定した図 5.1 の赤丸で示した 3 箇所に小型の圧力センサーシート (Flexi Force) を挿入して， $35 \pm 5 \text{gf/cm}^2$ を目安に紐の締め方を調節し，シューズの装着状態を同様にした。



図 5.1: 実験試料（○印は圧力計測箇所）

表 5.1 試料データ

ウィズサイズ	足長サイズ(cm)	重量片足(g)	アウトソール		インソール	
			足長(mm)	足幅(mm)	足長(mm)	足幅(mm)
D	26.5	298	305	115	275	99
2E	26.5	298	305	115	275	102
4E	26.5	298	305	120	275	107

5.2.2 被験者

被験者は健康で足に大きな受傷歴のなく、足長のサイズとウィズがそれぞれ 26.5cm でウィズ D が適正な男子大学生 5 名(年齢 23.6 ± 1.4 歳, 身長 170.6 ± 6.4 cm, 体重 62.8 ± 5.2 kg)とした。被験者の詳細は表 5.2 に示す。実験に先立ち、実験中に想定される危険や安全への配慮、個人情報管理などに関して説明し同意を得た上で実験を行った。

表 5.2 被験者データ

被験者	年齢	身長(cm)	体重(kg)	足長(mm)	足囲(mm)	足幅(mm)	基準足長サイズ(cm)	基準足囲サイズ
A	25	168	57	255	245	99	26.5	D
B	23	171	57	257	240	100	26.5	D
C	24	168	64	255	253	101	26.5	D
D	25	177	68	258	253	100	26.5	D
E	21	169	73	258	252	101	26.5	D

5.2.3 実験試技と計測項目，装置

4章での実験と同様に，被験者には裸足の状態になってもらい，足長・足囲・足幅の3つの足部形態計測を行った．その後，実験用として用意した同一の靴下を履いてもらった．右足の前脛骨筋と腓腹筋のそれぞれにEMGセンサ（DELSYS社製）を取り付けた．その後，前脛骨筋と腓腹筋それぞれの最大随意筋収縮（MVC）の計測を行った．筋電位データはAD変換器（MP150，BIOPAC System社製）を介し，サンプリング周波数を1000Hzでノートパソコンに収録した．MVCの計測については，徒手筋力測定法に従って，前脛骨筋では足首を垂直に固定した状態から被験者の最大の力で約10秒間背屈運動をしてもった．腓腹筋では，足首を垂直に固定した状態から被験者の最大の力で約10秒間底屈運動をしてもらいMVCの計測を行った¹⁰⁾．その後，基準サイズ(26.5cm)のシューズを履き直立姿勢の状態で小型の圧力センサシート(ニッタ(株)製 Flexi Force)を用いて，図5.1に示した3箇所の圧力調整を行った後に歩行実験を行った．シューズの紐の締め方調整は試料ごとに歩行試技前に行うこととした．

図5.3実験室内の歩行路上を各試料について，基準サイズ(足長サイズ26.5cmのウィズD)，足長サイズ26.5cmのウィズ2E，足長サイズ26.5cmのウィズ4Eの順で10回ずつ歩行させた．被験者には，右靴の足底挿板に，足型の圧力センサシート(ニッタ(株)F-scan)を敷いて試料を履いてもらい，同時に右下腿の前脛骨筋と腓腹筋にEMGセンサを取り付けた．また，歩行路中央に設置した床反力計である3点支持型フォースプレート(株式会社ディケイエイチ)を用いて，立脚期の床反力を計測した．さらに各サイズの実験試技が終了するごとに基準サイズ(26.5cm)を基準とした歩行感覚「蹴り出しやすさ」「履き心地」「衝撃感」「フィット感」の4項目について，基準サイズより悪い(-3)～基準サイズより良い(+3)の7段階で評価してもらった．

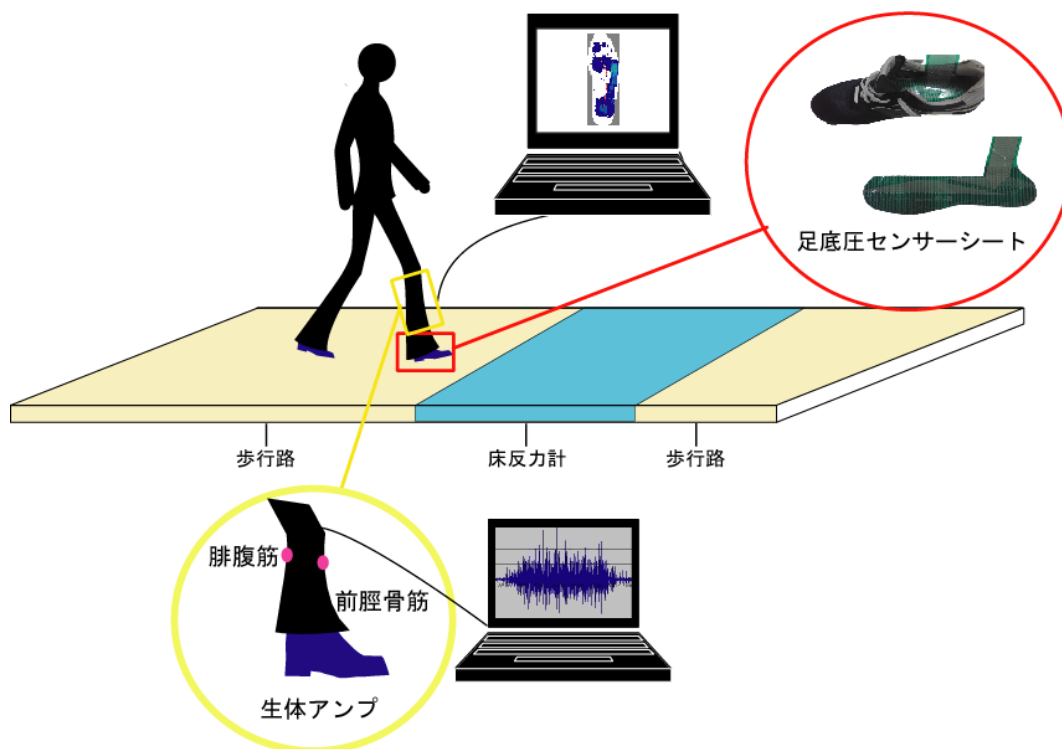


図 5.2 実験の概要

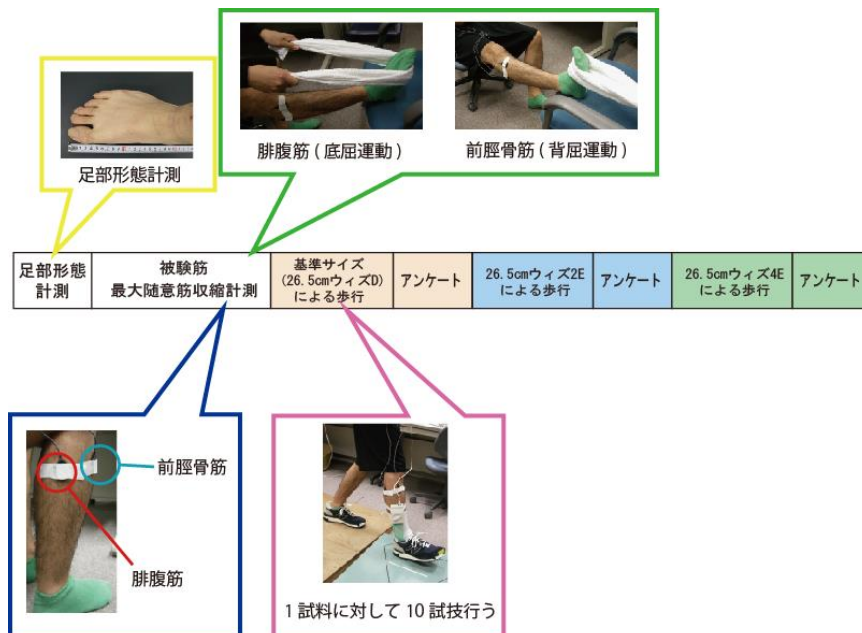


図 5.3 実験プロトコル

フットウェア評価のアンケート(靴)

2009年 月 日

整理番号

年齢 身長 体重

設問1・基準サイズ(26.5cmのウィズD)を基準にして紐の締め方と靴全体の印象について記入してください

①26.5 cmのウィズ2E

設問1	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
接地時の衝撃大								衝撃小
蹴り出しにくい								蹴り出しやすい
フィットしていない								フィットしている
履き心地が悪い								履き心地が良い

②26.5 cmのウィズ4E

設問1	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
接地時の衝撃大								衝撃小
蹴り出しにくい								蹴り出しやすい
フィットしていない								フィットしている
履き心地が悪い								履き心地が良い

※太枠内はこちらで記入します

図 5.4 アンケートシート

5.2.4 解析方法

筋電図計測の解析には数値解析ソフト Mathematica を用いた。また、荷重点移動軌跡がなす面積の算出では MATLAB および Adobe Photoshop を使用した。ここでも、歩行動作について以下の 5 項目について解析を行い足囲サイズの違いによる影響を定量的に検討する。

- ◆ 立脚期の前脛骨筋と腓腹筋の % MVC
- ◆ 立脚期の床反力(接地時間を含む)
- ◆ 荷重点移動軌跡のなす面積
- ◆ 計測量の変動係数
- ◆ 歩行感覚

解析方法は第 4 章と同様のため、第 4 章 4.2.5 解析方法に述べたとおりである。

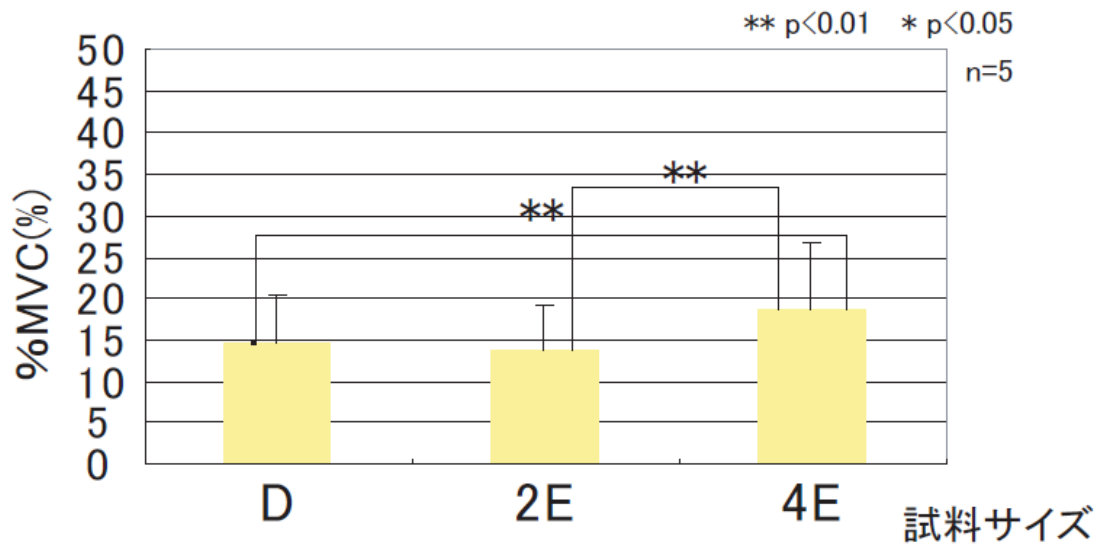
5.3 結果

◆ 立脚期の前脛骨筋と腓腹筋の%MVCと変動係数について

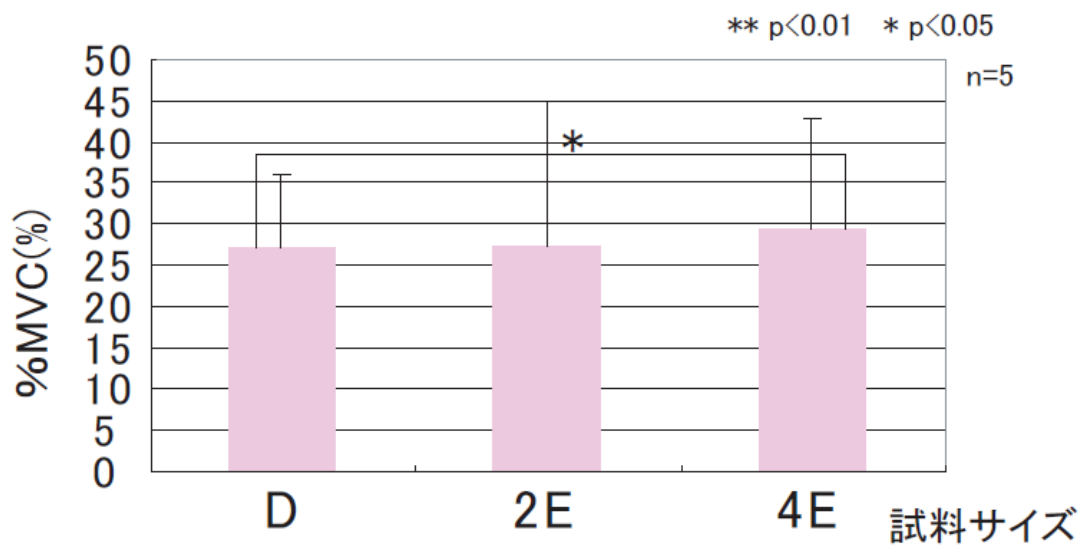
歩行計測で得られた立脚期における前脛骨筋と腓腹筋の積分筋電位の平均値と標準偏差を図 5.5 に，またそれぞれの変動係数を図 5.6 に示す．

図 5.5 より，前脛骨筋では足囲サイズが 2E サイズ以上になることで，積分筋電位は基準サイズ(D)よりも有意 ($p < 0.01$) に大きかった．また，腓腹筋においては，足囲サイズが 4E サイズ以上になることで，有意 ($p < 0.01$) に大きかった．このことから，足囲サイズが 2E サイズ以上大きくなることで，同一動作にもかかわらず脚(下腿)への負担が増加することが明らかになった．

図 5.6 より，足囲サイズが 4E サイズ以上になることで，前脛骨筋と腓腹筋の変動係数が基準サイズ(D)よりも有意 ($p < 0.05$) に大きくなった．このことから，足囲サイズが 4E サイズ以上になることで歩行動作の再現性が低下していることが明らかになった．

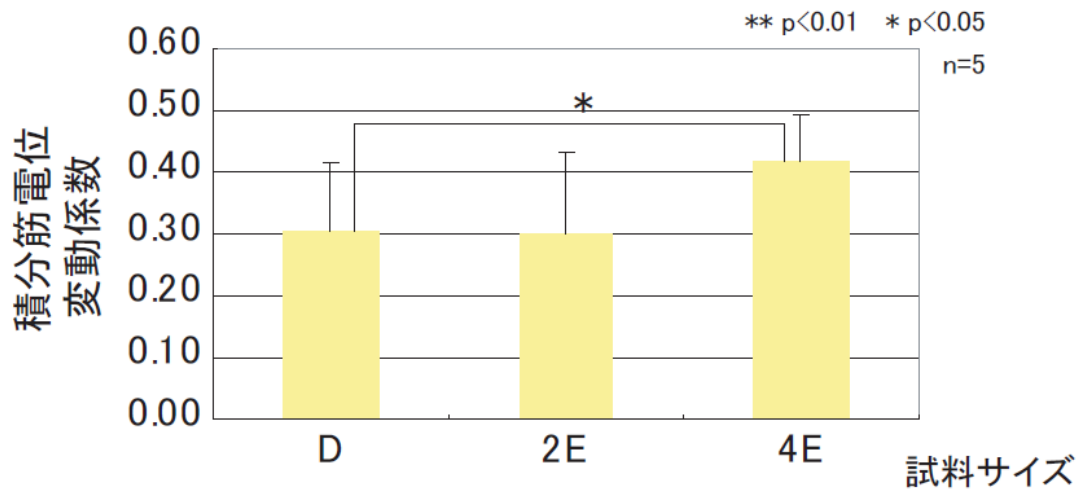


(a) 前脛骨筋

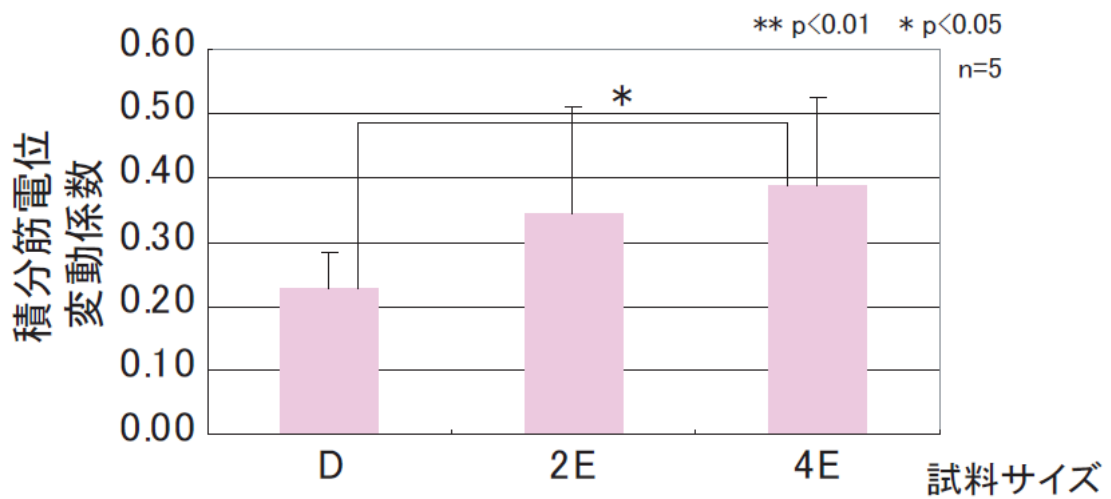


(b) 腓腹筋

図 5.5 立脚期の積分筋電位の平均値



(a) 前脛骨筋



(b) 腓腹筋

図 5.6 立脚期の積分筋電位の変動係数の平均値

◆ 床反力ピーク値と接地時間について

接地時 (F2) および蹴り出し時 (F4) の床反力ピーク値の平均値の結果を図 5.7 に，立脚期全体の時間の平均の結果を図 5.8 に，さらに，踵着地時 (F1) から変曲点 (F3) までの時間と変曲点 (F3) からつま先離地時 (F5) までの時間の結果を図 5.9 に示す。接地時 (F2) と蹴り出し時 (F4) の変動係数については図 5.10(a) に，立脚期の時間の変動係数については図 5.10(b) に，踵着地時 (F1) から変曲点 (F3) までの時間と変曲点 (F3) から蹴り出し時 (F5) までの時間の変動係数は図 5.10(c) に示す。

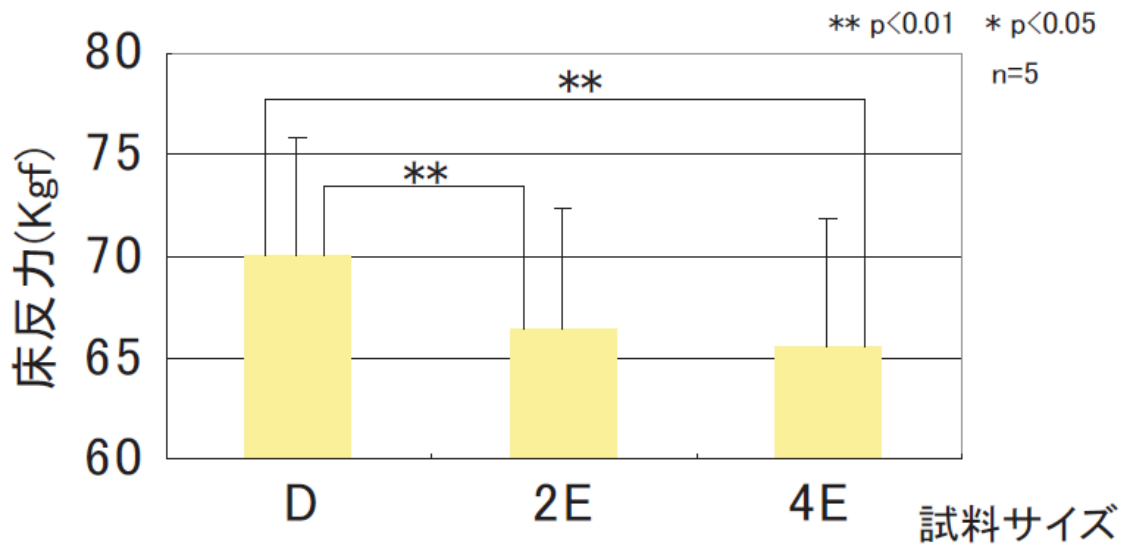
図 5.7 の接地時 (F2) および蹴り出し時 (F4) の床反力ピーク値の平均値の結果では，接地時 (F2) においては，足囲サイズが 2E サイズ以上になることで，有意 ($p < 0.01$) に小さい結果となった。また，蹴り出し時 (F4) においては，足囲サイズが 2E サイズ以上になることで，有意 ($p < 0.05$) に小さい結果となった。接地時 (F2) および蹴り出し時 (F4) について足囲サイズによる影響が出ることが明らかになった。

図 5.8 の立脚期全体の時間の平均の結果では，基準サイズ (D) と足囲サイズが大きくなっても，立脚期全体の時間としての違いはみられなかった。足囲サイズの変化で，立脚期自体の時間に変化はみられないことが明らかになった。

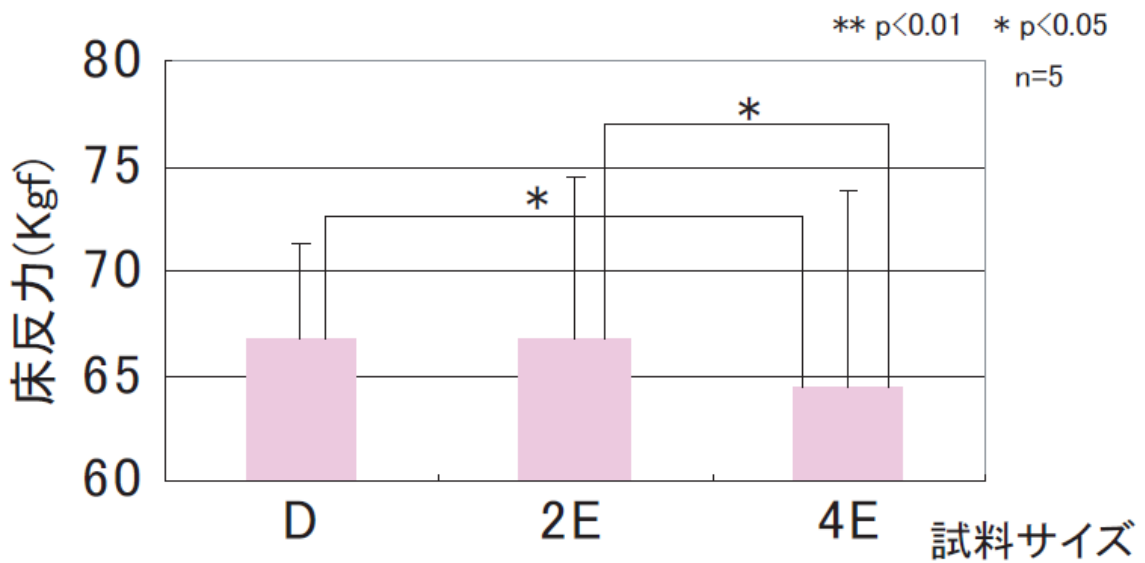
図 5.9 の踵着地時 (F1) から変曲点 (F3) までの時間の平均と変曲点 (F3) からつま先離地時 (F5) までの時間の平均については，踵着地時 (F1) から変曲点 (F3) では，足囲サイズが 2E サイズ以上になることで，有意 ($p < 0.05$) に時間が短くなる結果となった。また，変曲点 (F3) からつま先離地時 (F5) では，足囲サイズが 2E サイズ以上になることで，有意 ($p < 0.01$) に時間が長くなる結果となった。以上のことから，足囲サイズが 2E サイズ以上になることで，踵着地時 (F1) から変曲点 (F3) までの時間が短くなり，変曲点 (F3) からつま先離地時 (F5) が長くなることで立脚期全体の時間には差が出ないことが明らかになった。

さらに，図 5.10-1 に示す接地時 (F2) の床反力の変動係数では，足囲サイズが基準サイズ (D) に対して大きくなることによる有意な差はみられなかった。また，蹴り出し時 (F4) の場合は，足囲サイズが 2E サイズ以上になることで，有意 ($p < 0.05$) に大きくなることがわかった。これは，足囲サイズが大きくなることによる歩行動作の再現性が低下することを示しており，特に，蹴り出し時 (F2) の力にみられることが明らかになった。

図 5.10-2 の立脚期全体の時間の変動係数では，基準サイズ(D)の値が最も大きく，足囲サイズの違いに伴う有意な差はみられなかった．図 5.10-3 の踵着地時(F1)から変曲点(F3)までの時間と変曲点(F3)からつま先離地時(F5)までの時間の変動係数については，踵着地時(F1)から変曲点(F3)までの時間では，基準サイズ(D)の値が最も大きく足囲サイズの違いで有意な差はみられなかった．しかし，変曲点(F3)からつま先離地時(F5)までの時間においては，足囲サイズが 2E サイズ以上になることで，有意な差はみられなかったが変動係数が大きくなる傾向がみられた．これは，踵着地時(F1)から変曲点(F3)の動作には，足囲サイズの影響はなく，逆に変曲点(F3)からつま先離地時(F5)の動作に足囲サイズの影響を受け歩行動作の再現性低下の可能性が示唆された．



(a) 接地時 (F2)



(b) 蹴り出し時 (F4)

図 5.7 接地時 (F2) および 蹴り出し時 (F4) の床反力の平均値

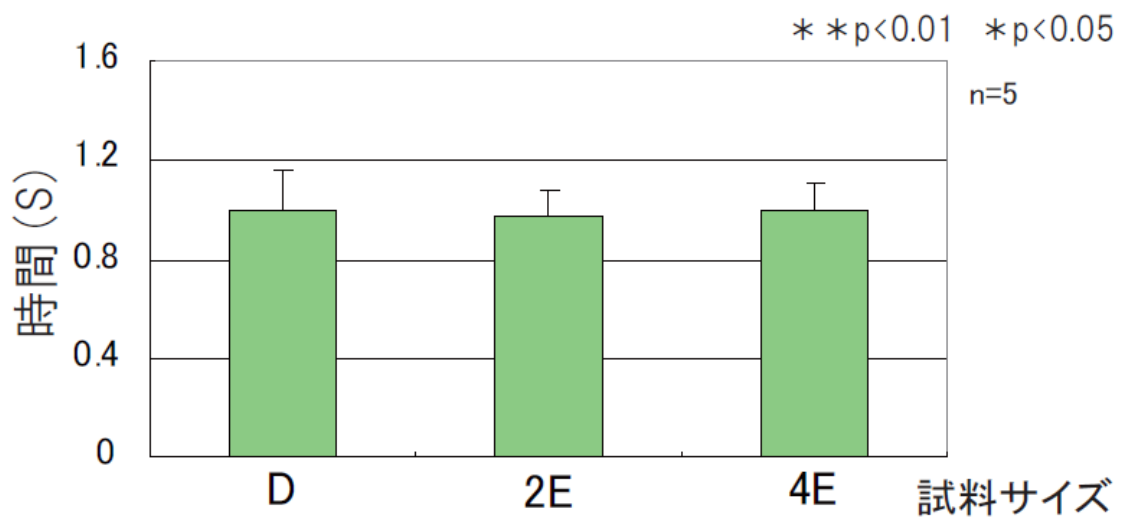
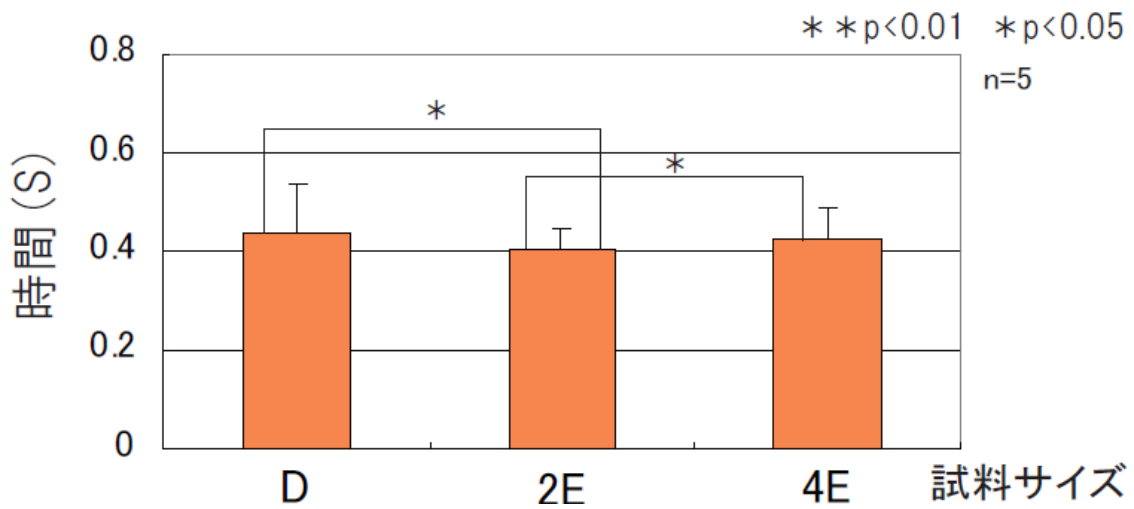
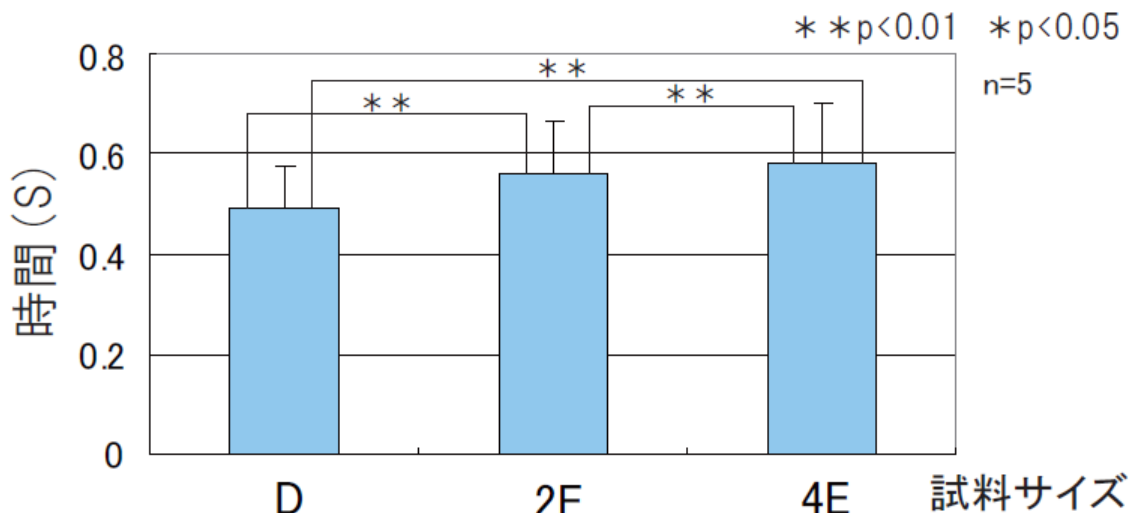


図 5.8 立脚期全体の時間の平均の結果

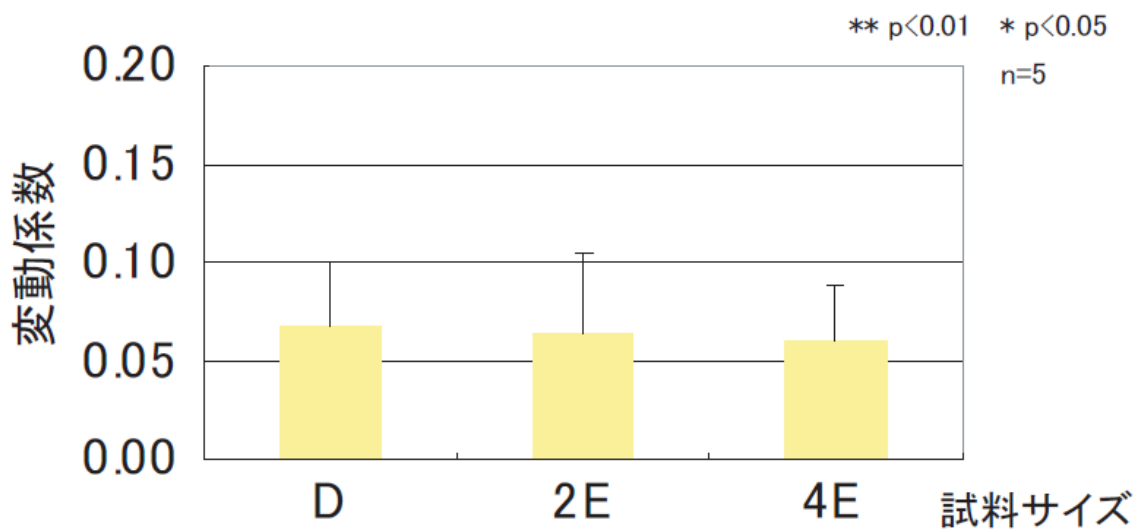


(a) F1 から F3 までの時間

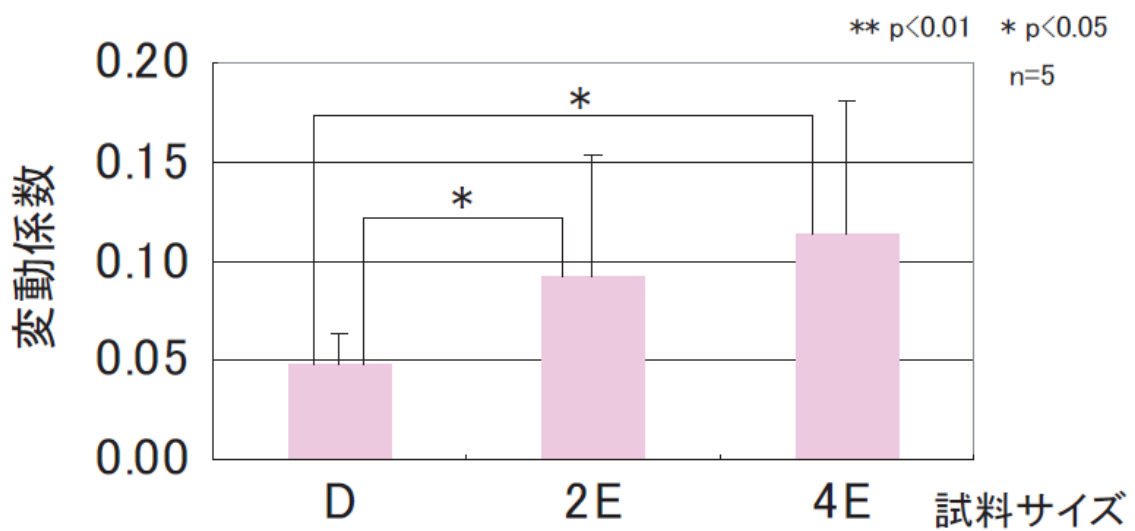


(b) F3 から F5 までの時間

図 5.9 F1 から F3 の時間と F3 から F5 までの時間の平均値



(a) 接地時 (F2)



(b) 蹴り出し時 (F4)

図 5.10-1 接地時 (F2) および蹴り出し時 (F4) の床反力の変動係数の結果

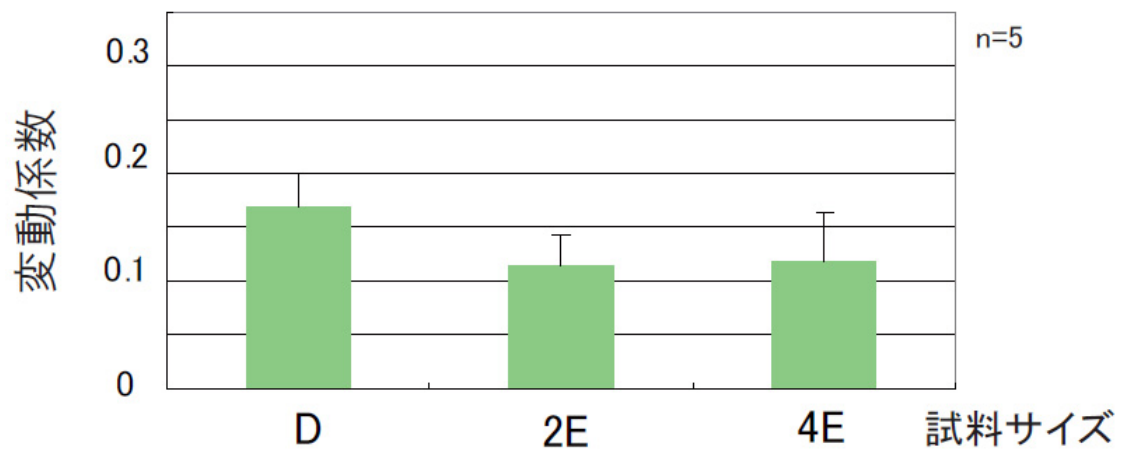
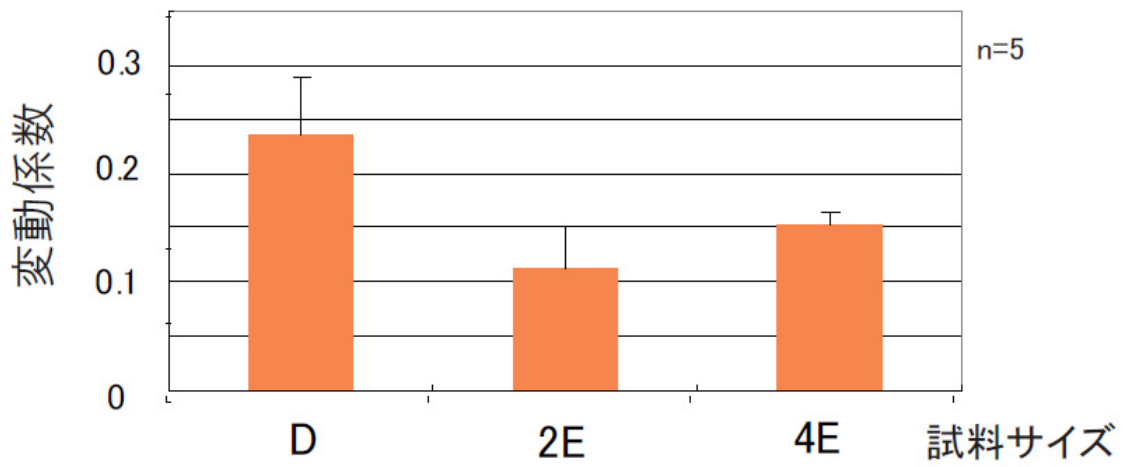
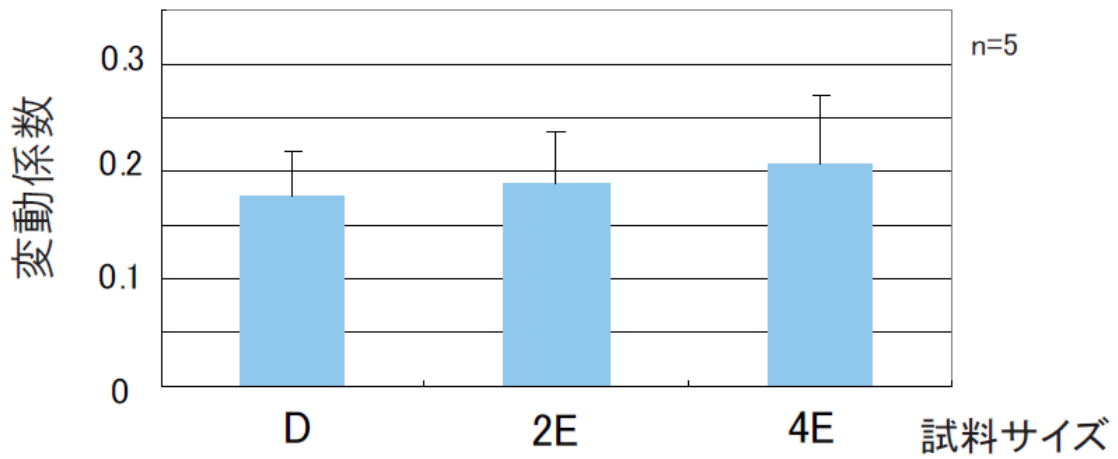


図 5.10-2 立脚期の時間の変動係数



(a) F1 から F3 までの時間



(b) F3 から F5 までの時間

図 5.10-3 F1 から F3 の時間と F3 から F5 までの時間の変動係数

◆ 荷重点移動軌跡のなす面積について

F-scan によって得られた立脚期の荷重点移動軌跡のなす面積の平均値と標準偏差を図 5.12 に，また荷重点移動軌跡のなす面積の変動係数を図 5.13 に示す．図 5.12 に示す荷重点移動軌跡の面積については，足囲サイズが 2E サイズ以上になることで，面積が有意 ($p < 0.01$) に増加することがわかった．図 5.13 に示す荷重点移動軌跡のなす面積の変動係数については，足囲サイズの違いによる有意な差はみられなかった．

以上の結果から，足囲サイズが 2E サイズ以上になることで，荷重点移動軌跡のなす面積が増加することが明らかとなった．つまり，歩行動作の再現性に影響（再現性の低下）が出ることを示している．

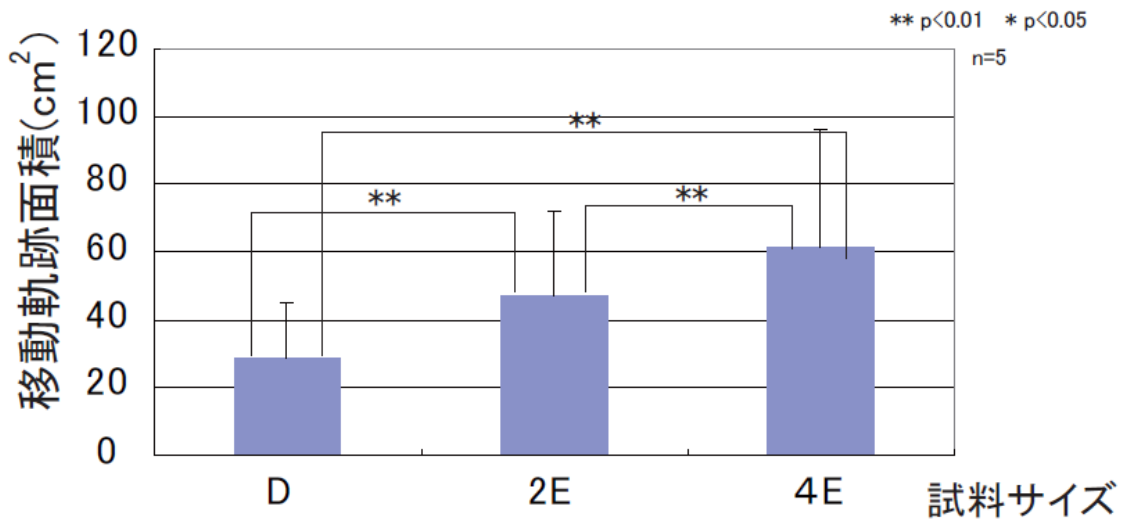


図 5.12 荷重点移動軌跡のなす面積の平均値

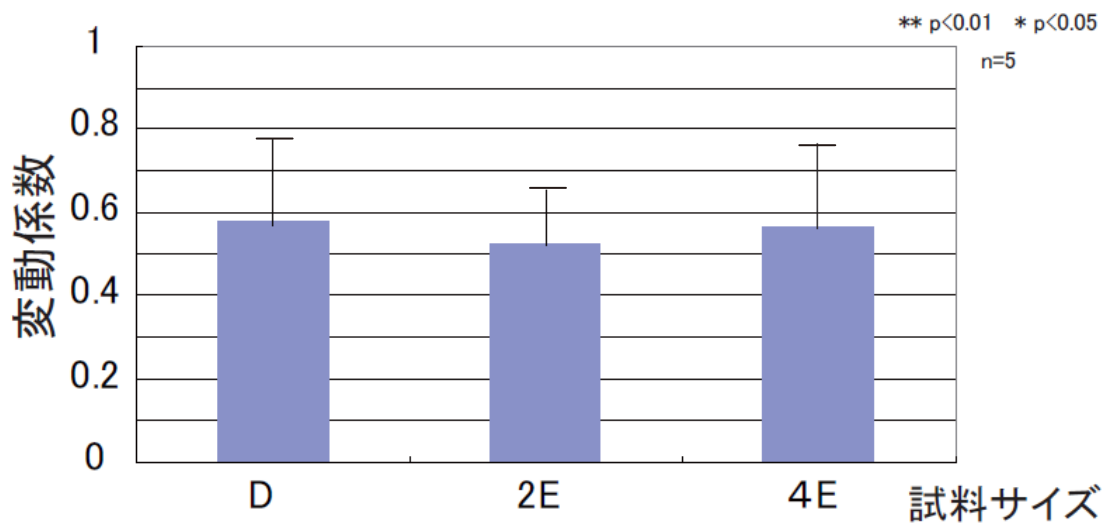


図 5.13 荷重点移動軌跡のなす面積の変動係数

◆ 歩行感覚について

歩行感覚の「蹴り出しやすさ」「フィット感」「履き心地」「衝撃感」の4項目について評価の平均値と標準偏差を図5.14(a), (b), (c), (d)に示す。

図5.14(a)に示す「蹴り出しやすさ」についての主観評価の結果では、足囲サイズが2Eサイズ以上になることで、有意($p < 0.05$)に蹴り出しやすくなる傾向がみられた。また、4Eサイズではなることで、有意($p < 0.05$)に蹴り出しにくく感じることもわかった。

図5.14(b)に示す、「フィット感」については、足囲サイズが2Eサイズ以上になることで、有意($p < 0.01$)にフィット感が向上する傾向がみられた。また、4Eサイズではなることで、有意($p < 0.01$)にフィット感が低下することもわかった。

図5.14(c)に示す、「履き心地」についての主観評価の結果では、足囲サイズが2Eサイズ以上になることで、有意($p < 0.05$)に履き心地が良くなった。また、4Eサイズでは有意($p < 0.01$)に履き心地が悪くなった。さらに、2Eに対して4Eにおいても有意($p < 0.05$)に履き心地が悪くなった。

図5.14(d)に示す、「衝撃感」についての主観評価の結果では、足囲サイズが2Eサイズ以上になることで、有意($p < 0.05$)に衝撃を小さく感じることもわかった。

以上のような結果から、「蹴り出しやすさ」「フィット感」「履き心地」に関する評価では、足囲サイズが2Eサイズ以上になることで、3項目については評価結果が有意に良くなった。一方、足囲サイズが4Eサイズでは、3項目についての評価結果が有意に悪くなった。

「衝撃感」については、3項目とは異なり足囲サイズが基準サイズ(D)より2サイズ以上大きくなることで評価結果が良くなった。

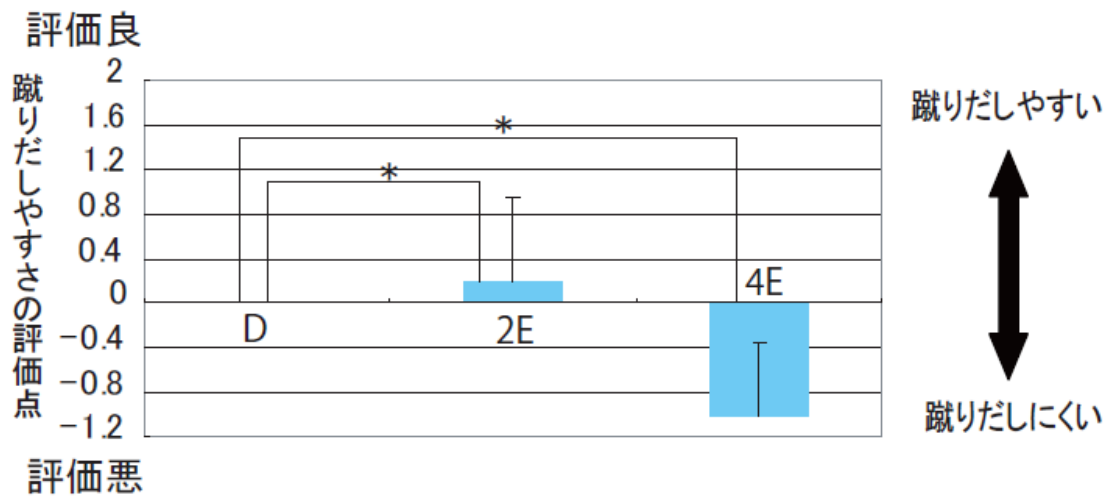


図 5.14(a) 蹴り出しやすさに関する主観評価的の結果

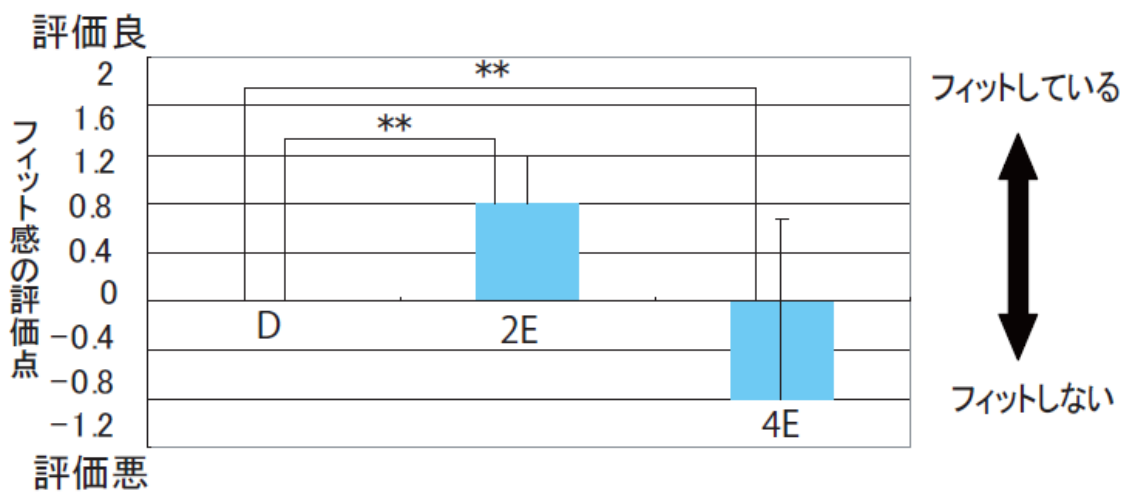


図 5.14(b) フィット感に関する主観評価的の結果

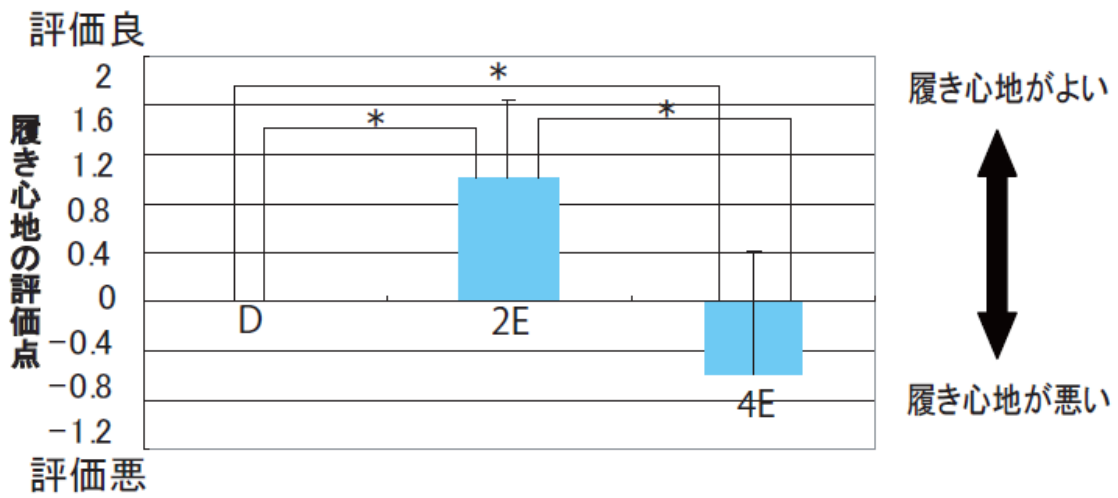


図 5.14(c) 履き心地に関する主観評価的の結果

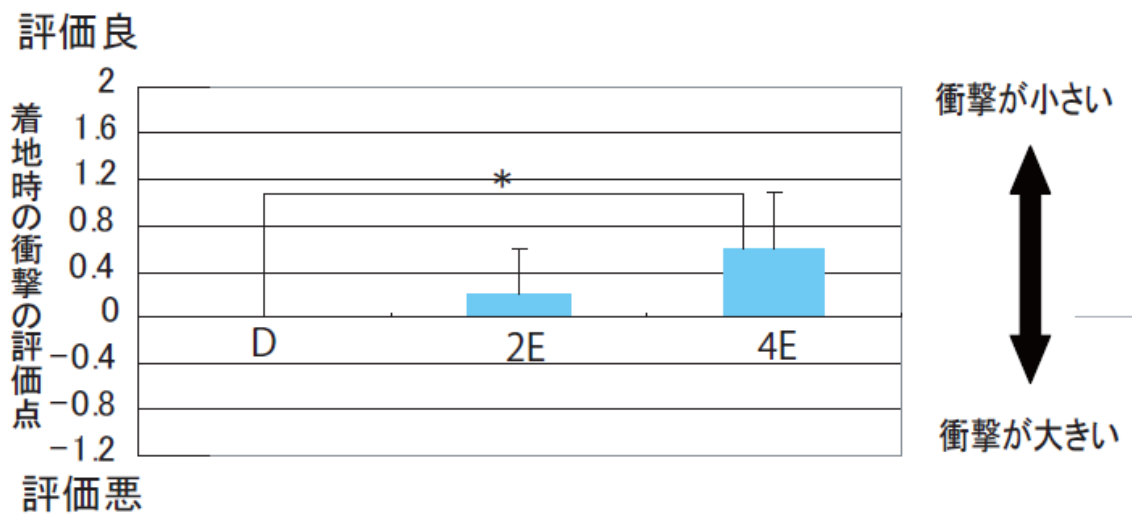


図 5.14(d) 衝撃感に関する主観評価的の結果

5.4 考察

(1) 立脚期の筋活動について

足囲サイズが 4E サイズになることで，前脛骨筋と腓腹筋の活動が増加し脚（下腿）への負担が増加することが明らかになった．足囲サイズが大きくなることは，前章で実験を行った足長サイズが大きくなることとは異なり，シューズ内の前足部の容積が著しく大きくなることが特徴である．このことから，靴の足囲サイズが大きくなることで蹴り出し動作時にシューズ内で足が左右に滑ることが原因ではないかと考えられる．足が左右方向の滑るのは，立脚期中期である全接地時と立脚期後期の蹴り出し局面の 2 時期だと考えられる．立脚期における下腿部および足部の動きから，踵接地時から全接地時においては，下腿は内反方向へ動き，踵離地時からつま先離地時において下腿は外反方向へ動き，離地の直前に外旋方向への動く（図 5.15）．また，足部は踵接地時から全接地時においては前足部は内反方向に動き，全接地時からつま先離地時にかけて前足部は外反方向への動きが大きくなるとされている³⁸⁾．このことから，全接地時からつま先離地時にかけて前足部が外反方向に動くときに足囲サイズが大きい場合にはシューズの前足部に空間的な余裕があることで，前足部が左右方向に滑ると考えられる．そして，蹴り出し動作に関わる力をロスする一方で推進力を得なければならないことから腓腹筋の筋活動量が増加する可能性が考えられる．また，足囲サイズが 2E サイズ以上になることで，変動係数も増加し，あわせて各試技における歩行動作も一様ではなくなり，つまりは歩行動作の再現性も低下すると考えられる．

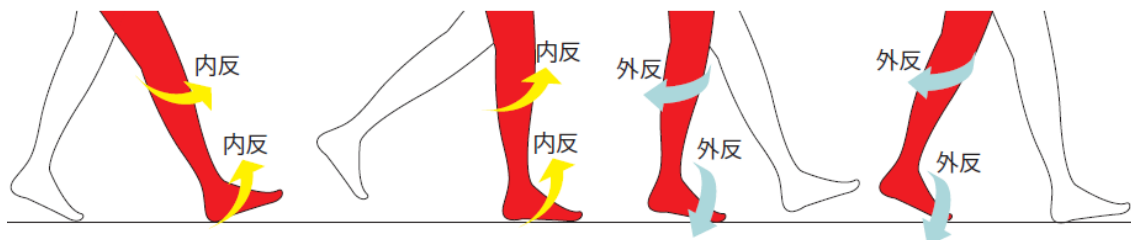


図 5.15 立脚期中期および後期の下腿および足部の動き

(2) 立脚期と床反力と接地時間

立脚期全体の時間は、足囲サイズの違いによる有意な変化はみられなかった。しかし、変曲点(F3)からつま先離地時(F5)の時間において足囲サイズが2Eサイズ以上になることで、有意に時間が長くなる結果となった。このことから、足囲サイズが2Eサイズ以上になることで、蹴り出し動作時の時間に影響を与えることが明らかになった。これらは、足囲サイズが基準サイズより大きくなることによりシューズ内の前足部に空間的なゆとりが生まれ、踵離地時からつま先離地時にかけて前足部が外反方向に動くことでシューズ内で左右への足の滑りが大きくなり、蹴り出し動作にかかる時間が基準サイズ着用時よりも時間が長くなっていると考えられる。また、蹴り出し時にシューズ内で足が左右に滑ることで蹴り出し動作にかかる時間が長くなり、推進するための床反力の力積が同じだとすれば、床反力の蹴り出し時(F4)のピーク値が小さくなると考えられる。

(3) 歩行動作の再現性について

靴の足囲サイズが2Eサイズ以上になることで、荷重点移動軌跡がなす面積が有意に大きくなっていた。これらは足部が踵接地時から全接地時において前足部が内反方向に動き、全接地時からつま先離地時にかけて前足部が外反方向への動きが大きくなる。足囲サイズが大きいことでシューズ内の前足部に空間的な余裕ができ、特に蹴り出し時に足全体が左右方向に滑ることで、荷重点移動軌跡が長くなり、結果として荷重点移動軌跡のなす面積が大きくなると考えられる。ここで、靴のサイズ以外の要因として考えられるのは、靴下や足底挿板等である。しかし、本実験においては被験者には同じソックスを着用させ、足底挿板も全てのサイズにおいて標準搭載されている同一の足底挿板にて実験を行っていることからこれらの要因により実験結果に影響を及ぼした可能性はない。したがって、足囲サイズが大きくなることで歩行動作に影響し、特に蹴り出し動作時にシューズ内で前足部が左右方向に滑ることが歩行動作の再現性を低下させる原因になっていると考えられる。

(4) 歩行感覚について

靴の足囲サイズが 2E サイズ以上になることで、蹴り出しやすさの評価が低下した。この点に関してもシューズ内で前足部が左右に滑ることで、心理的にも影響が出るのではないかと考えられる。一方、すべての主観評価項目において、足囲サイズが 2E サイズ以上になることで、評価点が良い結果となった。これは、足囲サイズが大きくなることで、シューズ自体が膝や足首に伝わる衝撃を緩衝している可能性が考えられる。このことから、実際に靴を選ぶ際にユーザーの主観のみでは、足囲サイズを 1 サイズ大きい靴を選ぶ可能性が十分考えられる。しかし、脚（下腿）への負担や歩行動作に関わる計測の結果からは、足囲サイズが 2E サイズ以上になることで、脚（下腿）への負担は増加し歩行動作の再現性が低下することから、試し履き程度で靴選びを行い、将来的な不具合まで予測することは困難ではないと考えられる。

5.5 まとめ

◆ 足囲サイズの違いによる歩行動作への影響について

足囲サイズが 2E サイズ以上になることで、ことで以下の現象がみられた。

- ・ 立脚期の腓腹筋の活動量が増加し、脚（下腿）への負担が増加する。
- ・ 荷重点移動軌跡のなす面積が大きくなり歩行動作の再現性が低下する。
- ・ 立脚期全体の時間に変化はないが、踵接地時 (F1) から変曲点 (F3) が短くなり変曲点 (F3) からつま先離地時 (F5) の時間が長くなる。
- ・ 蹴り出し時床反力の値 (F4) が小さくなる。
- ・ 心理評価 (歩行感覚) においても 4E サイズで各評価が悪かった。しかし、基準サイズに比べて足囲サイズが 2E サイズ以上になることで、評価が良いという現象もみられる。

これらの原因として考えられるのは足囲サイズが 2E サイズ以上になることで、シューズ内の前足部に空間的な余裕ができ、全接地

時からつま先離地時にかけて前足部が外反方向への動くことによって、とりわけ蹴り出し時にシューズ内で足が左右に滑ることだと考えられる。足長サイズおよび足囲サイズの違いによる歩行動作への影響の結果から共通して蹴り出し動作時のシューズ内での前足部の滑りが原因だと考えられる。

次章では、足長サイズと足囲サイズがともに大きい場合の歩行動作への影響を検討していく。

第6章 靴の足長および足囲サイズの違いが
歩行動作に及ぼす影響

6.1 目的

4章および5章において、足長サイズあるいは足囲サイズの違いが歩行動作への影響を検討してきた。足長サイズあるいは足囲サイズが大きくなるという不適合が歩行動作に与える原因として、前足部がシューズ内で滑ることが考えられた。特に注目すべき点として歩行動作の再現性が低下することで、それに伴って腓腹筋の筋活動量の増加、変曲点(F3)からつま先離地時(F5)の接地時間の長時間化、歩行感覚への悪影響などへ波及することが明らかになった。

本章では靴の足長サイズと足囲サイズがともに不適合サイズの場合、下腿(特に腓腹筋)の筋電図、足底圧、床反力、荷重点移動軌跡にどのような影響を及ぼし、足長サイズと足囲サイズのどちらの不適合がより大きく影響を及ぼすのか検証することを目的とする。

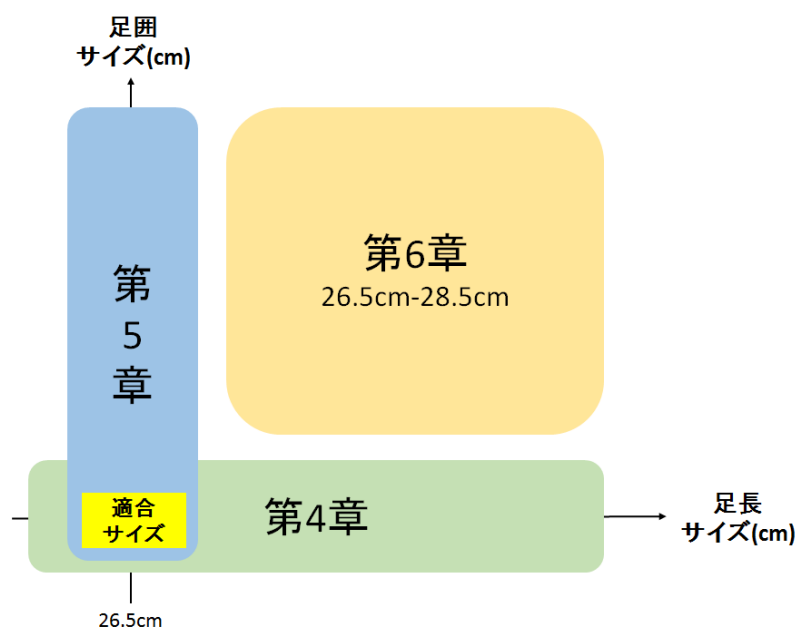


図 6.1:本章の概要

6.2 方法

6.2.1 試料

実験試料にはニューバランス社製ランニングシューズ MR749J の足長サイズは 26.5cm/27.0cm/27.5cm/28.0cm/28.5cm の 5 種類，足囲サイズ(ウィズ)はそれぞれの足長において D, 2E, 4E の 3 種類で計 15 試料とした．前章までの結果で基準の足長サイズ 26.5cm よりも小さな 26cm では顕著な影響がみられなかったことから，本章の実験では 26cm の試料を用いず，さらに大きな 28.5cm に置き換えた．第 2 章にて設定した図 6.2 の赤丸で示した 3 箇所に小型の圧力センサシート (Flexi Force) を挿入して， $35 \pm 5 \text{gf/cm}^2$ を目安に紐の締め方を調節し，シューズの装着状態を同様にした．



図 6.2: 実験試料 (○印は圧力計測箇所)

6.2.2 被験者

被験者は健康で足に大きな受傷歴のなく，足長のサイズとウィズがそれぞれ 26.5cm でウィズ D が適正な男子大学生 5 名(年齢 23.6 ± 1.4 歳，身長 170.6 ± 6.4 cm，体重 62.8 ± 5.2 kg)とした．被験者の詳細は表 6.1 に示す．実験に先立ち，実験中に想定される危険や安全への配慮，個人情報管理などに関して説明し同意を得た上で実験を行った．

表 6.1 被験者データ

被験者	年齢	身長(cm)	体重(kg)	足長(mm)	足囲(mm)	足幅(mm)	基準足長サイズ(cm)	基準足囲サイズ
A	25	168	57	255	245	99	26.5	D
B	23	171	57	257	240	100	26.5	D
C	24	168	64	255	253	101	26.5	D
D	25	177	68	258	253	100	26.5	D
E	21	169	73	258	252	101	26.5	D

6.2.3 実験試技と計測項目，装置

4章と5章での実験と同様に，被験者には裸足の状態になってもらい，足長・足囲・足幅の3つの足部形態計測を行った．その後，実験用として用意した同一の靴下を履いてもらった．右足の前脛骨筋と腓腹筋のそれぞれにEMGセンサ（DELSYS社製）を取り付けた．その後，前脛骨筋と腓腹筋それぞれの最大随意筋収縮（MVC）の計測を行った．筋電位データはAD変換器（MP150，BIOPAC System社製）を介し，サンプリング周波数を1000Hzでノートパソコンに収録した．MVCの計測については，徒手筋力測定法に従って，前脛骨筋では足首を垂直に固定した状態から，被験者の最大の力で約10秒間背屈運動をしてもった．腓腹筋では，足首を垂直に固定した状態から，被験者の最大の力で約10秒間底屈運動をしてもらいMVCの計測を行った¹⁰⁾．その後，基準サイズ(26.5cm)のシューズを履き直立姿勢の状態で小型の圧力センサシート（ニッタ(株)製 Flexi Force)を用いて，図6.2に示した3箇所の圧力調整を行った後に歩行実験を行った．シューズの紐の締め方調整は試料ごとに歩行試技前に行うこととした．

図6.3実験室内の歩行路上を各試料について，基準サイズ（足長サイズ26.5cmのウィズD），足長サイズ26.5cmのウィズ2E，足長サイズ26.5cmのウィズ4Eの順で10回ずつ歩行させた．その後，足長サイズを27.0cm，27.5cm，28.0cmおよび28.5cmの順で，同様にウィズをD，E，2Eの順番で行い，被験者には実験実内に設置した歩行路上を歩行してもらい，計測を実施した．被験者には，右靴の足底挿板に，足型の圧力センサシート（ニッタ(株)F-scan)を敷いて試料を履いてもらい，同時に右下腿の前脛骨筋と腓腹筋にEMGセンサを取り付けた．また，歩行路中央に設置した床反力計である3点支持型フォースプレート（株式会社ディケイエイチ）を用いて，立脚期の床反力を計測した．

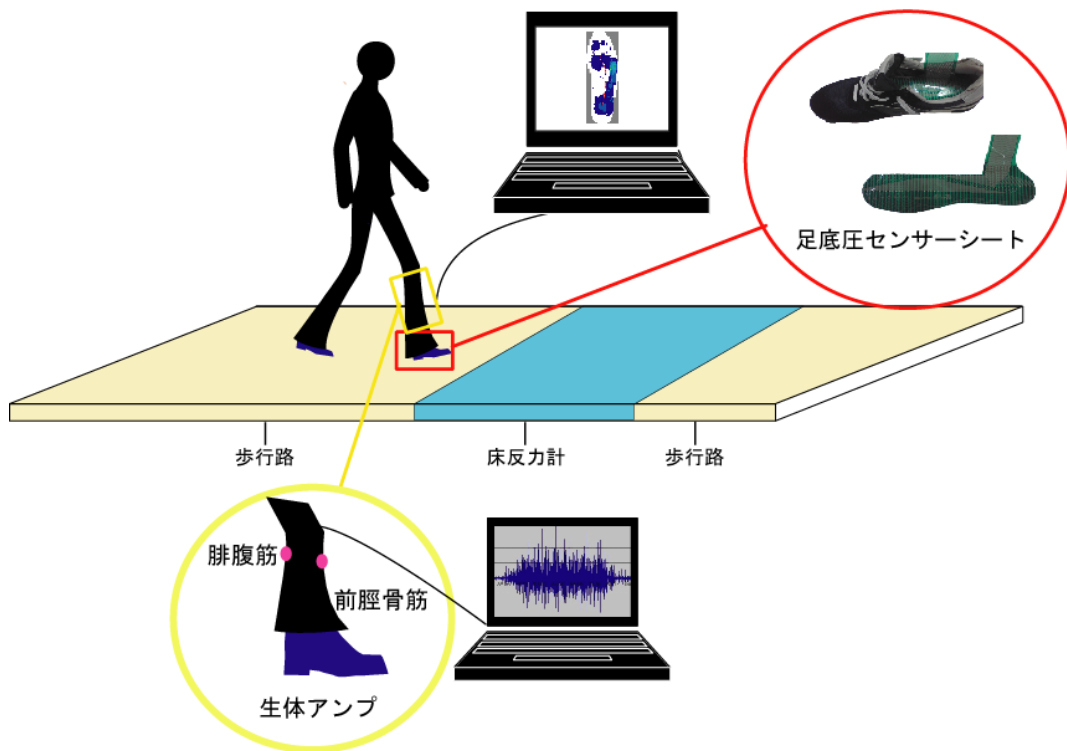


図 6.3 実験概要

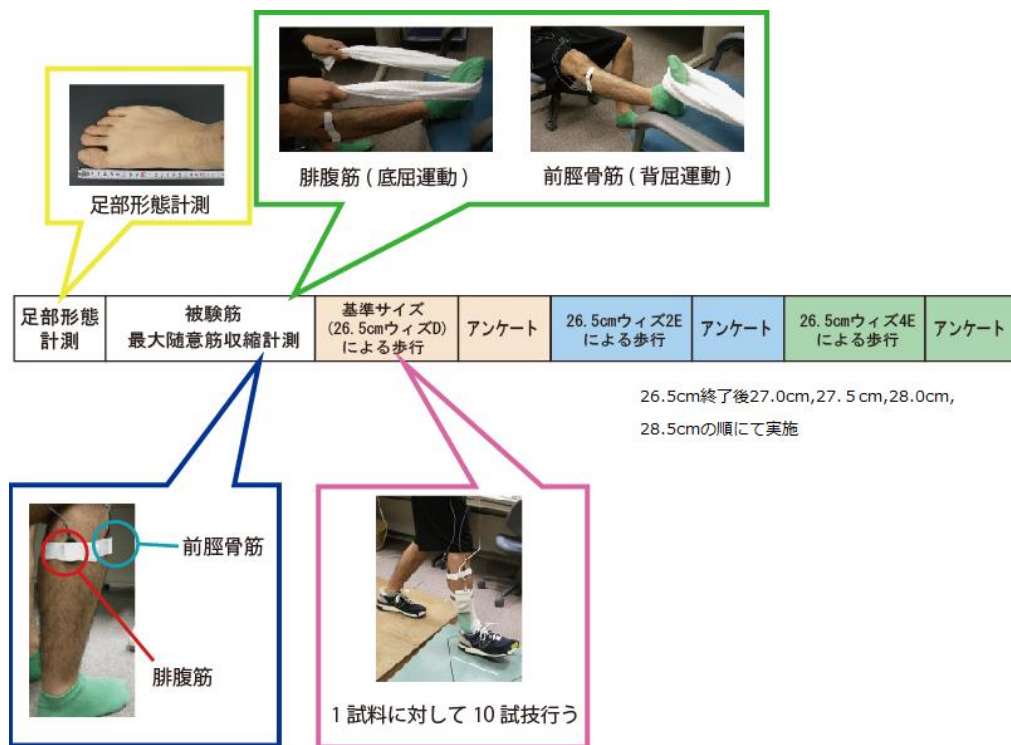


図 6.4 実験プロトコル

6.2.4 解析方法

筋電図計測の解析には数値解析ソフト Mathematica を用いた。また、荷重点移動軌跡がなす面積の算出では MATLAB および Adobe Photoshop を使用した。ここでも、歩行動作について以下の 5 項目について解析を行い足囲サイズの違いによる影響を定量的に検討する。

- ◆ 立脚期の前脛骨筋と腓腹筋の % MVC
- ◆ 立脚期の床反力（接地時間を含む）
- ◆ 荷重点移動軌跡のなす面積

解析方法は第 4 章と同様で、4.2.4 解析方法に述べたとおりである。

6.3 結果

◆ 立脚期の腓腹筋の % MVC について

前章までの結果で，足長サイズあるいは足囲サイズが大きい場合では，蹴り出し動作への影響が顕著であったことから本章では腓腹筋を対象にした．歩行計測で得られた立脚期における腓腹筋の % MVC の平均値と増加率を図 6.5 に示す．X 軸方向に足囲サイズのデータを，Z 軸方向に足長サイズのデータ，Y 軸に筋活動量のデータを示している．

足長サイズと足囲サイズがともに基準サイズ(足長 26.5cm/ウィズ D)よりも大きくなると腓腹筋の活動が増加し，下腿(腓腹筋)への負担が増加することが明らかになった．具体的には，表 6.2 において基準足長 26.5cm で足囲が 4E まで大きくなると，腓腹筋の筋活動量の増加率は 7.6%である．一方，表 6.3 に示すように基準サイズである足囲サイズ D のとき足長サイズが 28.5cm になると筋活動量の増加率が -4.9%で足長サイズの影響はみられない．また，足長サイズと足囲サイズがそれぞれ最大サイズである 28.5cm/4E の組み合わせについては，足長サイズ 28.5cm における足囲サイズの影響(足囲サイズ D→4E)は筋活動量の増加率は 36.5%であるが，足囲サイズ 4E において足長サイズの影響(足長サイズ 26.5cm→28.5cm)は筋活動量の増加率で 26.9%である．つまり，足囲サイズの影響がより大きい．有意差検定の結果では，足長サイズの全てのサイズに対して足囲サイズで D よりも 4E の増加率が有意 ($p < 0.05$) に大きいことが認められた．なお，データは示さないが前脛骨筋については顕著な増減傾向や有意差は認められなかった．

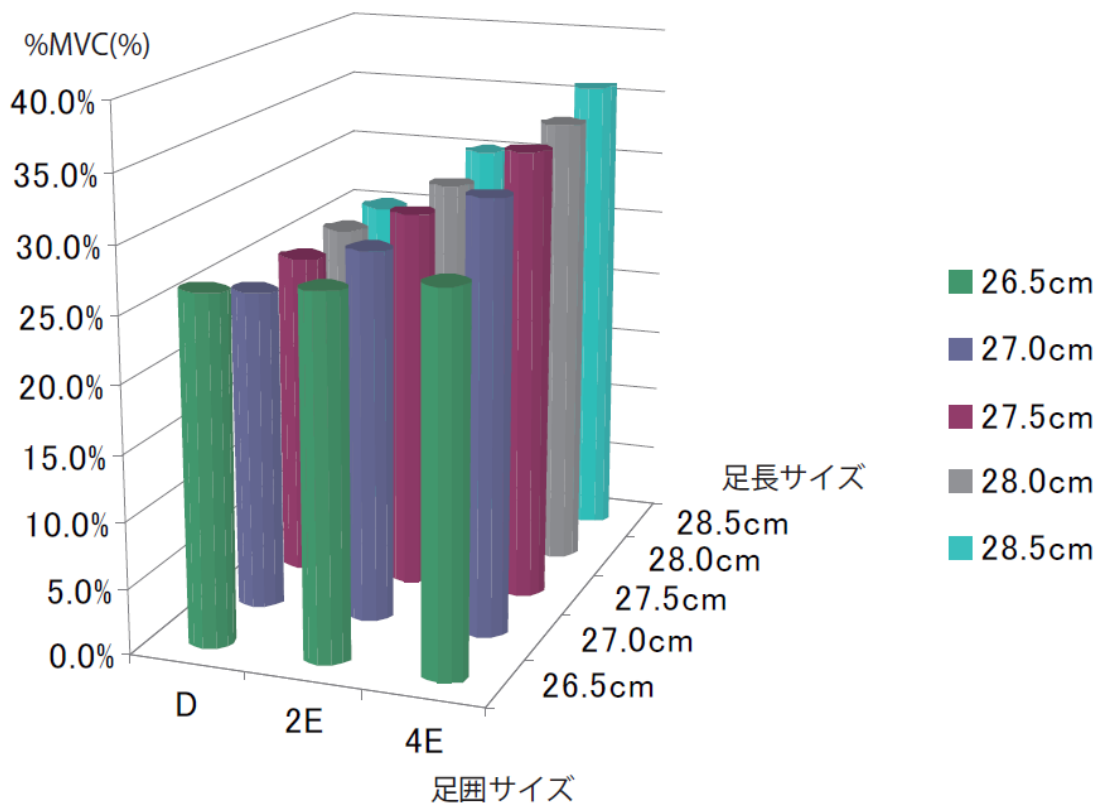


図 6.5 腓腹筋における積分筋電位増加率

表 6.2 腓腹筋における積分筋電位増加率の足囲サイズの変化による影響

積分筋電位増加率 (足囲サイズの影響)	足囲サイズ			検定		
	D	2E	4E	D/2E	D/4E	
足長 サイズ	26.5cm	基準値	3.4%	7.6%	*	
	27.0cm	基準値	15.7%	23.6%	*	**
	27.5cm	基準値	16.6%	29.7%	*	**
	28.0cm	基準値	16.8%	31.2%	*	**
	28.5cm	基準値	20.8%	36.5%	**	**

*P<0.05, **P<0.01

表 6.3 腓腹筋における積分筋電位増加率の足長サイズの変化による影響

積分筋電位増加率 (足長サイズの影響)		足囲サイズ		
		D	2E	4E
足長 サイズ	26.5cm	基準値	基準値	基準値
	27.0cm	-8.0%	2.9%	14.8%
	27.5cm	-6.1%	5.9%	20.5%
	28.0cm	-4.9%	7.4%	21.9%
	28.5cm	-4.9%	11.0%	26.9%
検定 26.5/27.0				**
検定 26.5/27.5			*	**
検定 26.5/28.0				**
検定 26.5/28.5			*	**

*P<0.05, **P<0.01

◆ 蹴り出し時の床反力のピーク値

床反力計から得られた，蹴り出し時のピーク値(F4)を図 6.6 に示す．X軸方向に足囲サイズのデータを，Z軸方向に足長サイズのデータを，Y軸に蹴り出し時のピーク値(kgf)のデータを示した．蹴り出し時の床反力の結果では，表 6.4 に示すように足長サイズが大きくなる場合よりも足囲サイズが大きくなる場合のほうが，F4(蹴り出し時)の床反力のピーク値の減少率が大きい結果となった．有意差検定の結果では，足長サイズ 28.5cm における足囲サイズの D に比べ 2E と 4E で床反力ピーク値が有意に小さくなった ($p < 0.05 \sim p < 0.01$)．このように蹴り出し時の床反力のピーク値には，足長サイズが大きくなることの影響よりも，足囲サイズが大きくなることの影響の方が大きいことが明らかになった．

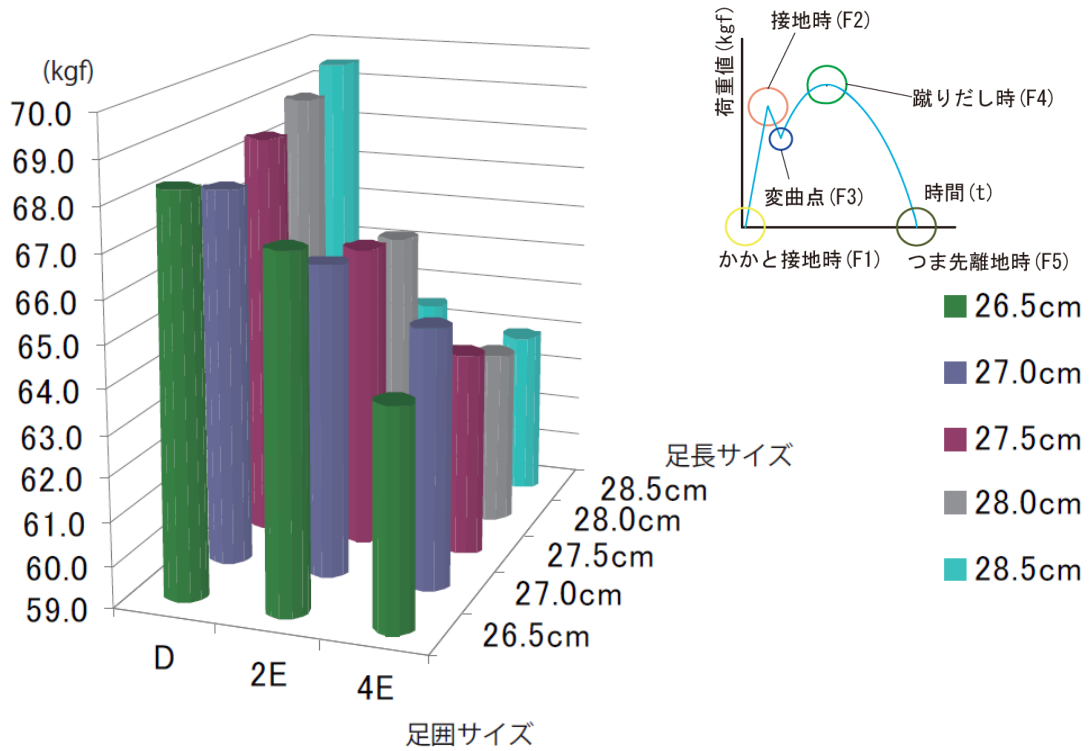


図 6.6 蹴り出し時 (F4) の床反力のピーク値

表 6.4 床反力の F4 蹴り出し時のピーク値の足囲サイズの影響

足囲サイズの影響		足囲サイズ			検定	
		D	2E	4E	D/2E	D/4E
足長サイズ	26.5cm	基準値	-1.6%	-6.1%		*
	27.0cm	基準値	-2.2%	-4.0%		
	27.5cm	基準値	-3.5%	-6.9%	*	*
	28.0cm	基準値	-4.6%	-8.6%	*	
	28.5cm	基準値	-8.6%	-9.5%	*	**

*P<0.05, **P<0.01

表 6.5 床反力の蹴り出し時のピーク値 (F4) の
足長サイズの影響

足長サイズの影響		足囲サイズ		
		D	2E	4E
足長 サイズ	26.5cm	基準値	基準値	基準値
	27.0cm	-0.7%	-1.3%	1.6%
	27.5cm	0.3%	-1.6%	-0.5%
	28.0cm	1.0%	-2.1%	-1.6%
	28.5cm	1.8%	-5.5%	-1.9%
検定 26.5/27.0				
検定 26.5/27.5				
検定 26.5/28.0				
検定 26.5/28.5				

*P<0.05, **P<0.01

◆ 接地時間について

変曲点 (F3) からつま先離地までの時間を図 6.7 に示す。X 軸方向に足囲サイズのデータを，Z 軸方向に足長サイズのデータ，Y 軸に変曲点 (F3) からつま先離地時 (F5) の時間である。

図 6.7 に示す接地時間の結果では，足長サイズよりも足囲サイズが大きくなる場合のほうが F3 から F5 までに要する時間が長かった。表 6.6 に示す有意差検定の結果では，全ての足長サイズにおいては足囲サイズで D よりも 2E の時間が有意に長くなり ($p < 0.05 \sim 0.01$)，26.5cm/27.5cm/28.0cm/28.5cm においては足囲サイズ D よりも 4E の時間が有意に長くなった ($p < 0.05 \sim 0.01$)。この結果から，適合サイズよりも足囲サイズが大きくなることで，蹴り出しに要する時間に影響を与えることが明らかとなった。また，足長サイズよりも足囲サイズが大きくなることの方が蹴り出し動作までの時間に大きく影響することが明らかになった。

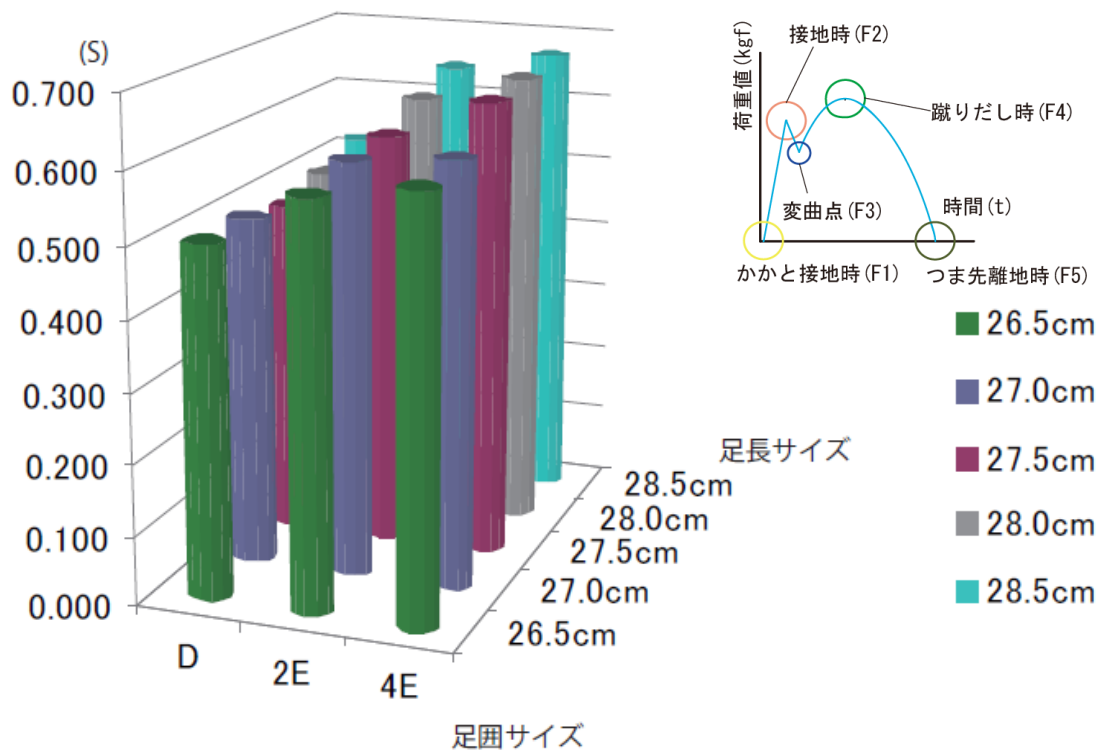


図 6.7 F3 から F5 に要する接地時間への靴のサイズの影響

表 6.6 F3 から F5 に要する接地時間の足囲サイズの影響

足囲サイズの影響		足囲サイズ			検定	
		D	2E	4E	D/2E	D/4E
足長 サイズ	26.5cm	基準値	14.9%	19.1%	*	*
	27.0cm	基準値	18.5%	23.3%	*	
	27.5cm	基準値	23.3%	35.3%	**	**
	28.0cm	基準値	24.4%	32.1%	*	**
	28.5cm	基準値	23.2%	28.4%	*	**

*P<0.05, **P<0.01

表 6.7 F3 から F5 に要する接地時間の足長サイズの影響

足長サイズの影響		足囲サイズ		
		D	2E	4E
足長 サイズ	26.5cm	基準値	基準値	基準値
	27.0cm	-0.2%	3.0%	1.3%
	27.5cm	-3.4%	3.7%	9.8%
	28.0cm	0.2%	8.6%	11.1%
	28.5cm	4.8%	12.4%	13.0%
検定 26.5/27.0				
検定 26.5/27.5				*
検定 26.5/28.0			*	**
検定 26.5/28.5			**	**

*P<0.05, **P<0.01

◆ 荷重点移動軌跡のなす面積について

F-scan によって得られた立脚期の荷重点移動軌跡のなす面積の平均値を図 6.8 に示す。X 軸方向に足囲サイズのデータを，Z 軸方向に足長サイズのデータ，Y 軸に変曲点 (F3) からつま先離地時 (F5) のデータを示した。足囲サイズ場合の増加率は，足長サイズが大きくなる場合の増加率よりも大きくなっている。また表 6.8 に示すように，有意差検定の結果，足囲サイズで D の場合，足長サイズを 26.5cm に対して D/2E および D/4E とともに増加率が有意 ($p < 0.01 \sim p < 0.05$) に大きいことが認められた。全ての足長サイズにおいては全ての足囲サイズ D と 4E 間に有意差 ($p < 0.01 \sim p < 0.05$) が認められ，足囲サイズが大きくなると増加率が大きいことが認められた。

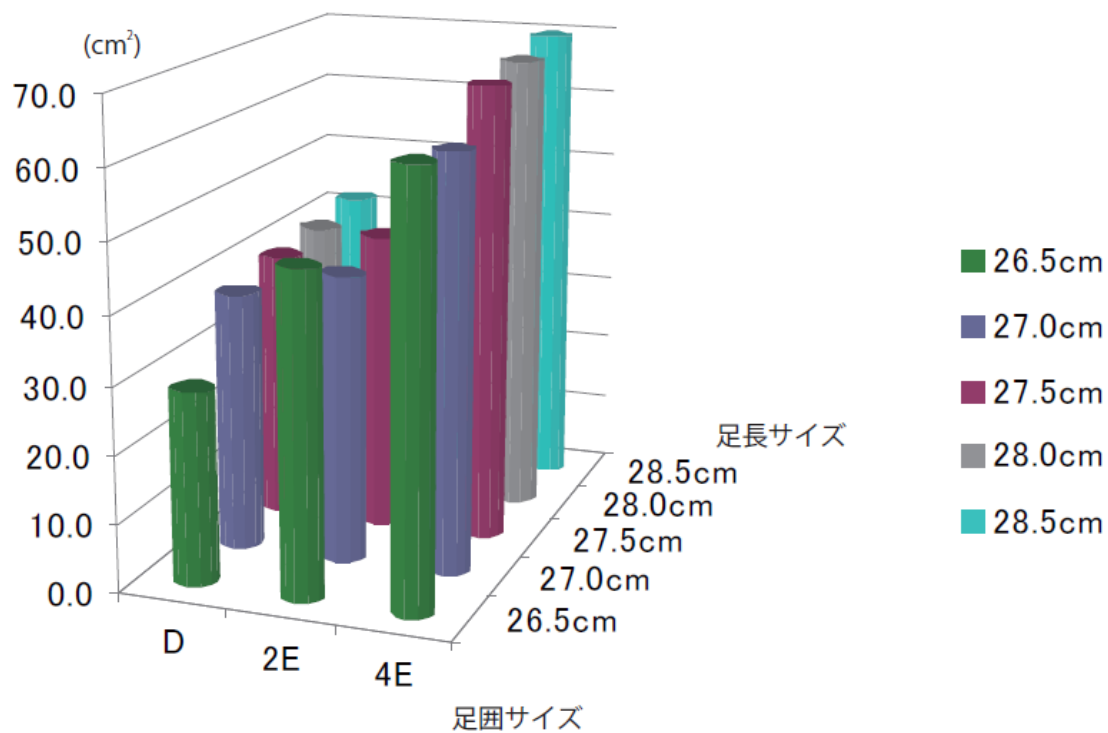


図 6.8 荷重点移動軌跡のなす面積の平均の結果

表 6.8 荷重点移動軌跡のなす面積の平均値の足囲サイズの影響

足囲サイズの影響		足囲サイズ			検定	
		D	2E	4E	D/2E	D/4E
足長 サイズ	26.5cm	基準値	66.0%	118.9%	**	*
	27.0cm	基準値	11.0%	60.1%	*	*
	27.5cm	基準値	110.8%	69.1%	*	*
	28.0cm	基準値	111.6%	68.6%	*	**
	28.5cm	基準値	109.8%	67.0%		**

*P<0.05, **P<0.01

表 6.9 荷重点移動軌跡のなす面積の平均値の足長サイズの影響

足長サイズの影響		足囲サイズ		
		D	2E	4E
足長 サイズ	26.5cm	基準値	基準値	基準値
	27.0cm	33.7%	-10.6%	-2.2%
	27.5cm	39.6%	-6.8%	7.9%
	28.0cm	42.1%	-4.4%	9.5%
	28.5cm	46.7%	-3.0%	11.9%
検定 26.5/27.0		**		
検定 26.5/27.5		**		*
検定 26.5/28.0		**		*
検定 26.5/28.5		**		**

*P<0.05, **P<0.01

6.4 考察

(1) 立脚期の筋活動について

足長サイズと足囲サイズがともに適合サイズより大きくなることで腓腹筋の筋活動量に増加することが明らかとなった。今回用いた全ての足長サイズに対して足囲サイズでDよりも4Eの筋活動量の増加率が有意 ($p < 0.05$) に大きいことが認められたことから、足長サイズの不適合よりも足囲サイズの不適合の方が歩行動作への影響が大きいことが明らかになった。これらの結果から、足長サイズが大きくなることで立脚期に足が前後に滑るよりも足囲サイズが大きくなることで特に前足部が左右方向へ滑ることが、筋活動の増加へ影響が大きいと考えられる。つまり、前足部に対応するシューズ内の容積が大きくなる(空間的な余裕がある)ことで踵接地時からつま先離地時にかけて前足部が外反方向に動く時に足が左右方向に滑ると考えられる。また足長サイズが大きくなる影響に関しては、第3章にて設定をした紐の締め方調整による効果で前後方向の滑りを多少抑制していると思われる。さらに、踵接地時に主に活動がみられる前脛骨筋には腓腹筋ほどの大きな影響が現れないことから、サイズ不適合の影響は蹴り出し時に影響を与えると考えられる。

(2) 立脚期の床反力と接地時間について

蹴り出し時の床反力ピーク値の結果では、足長サイズが大きくなる場合よりも足囲サイズが大きくなる場合のほうが、F4(蹴り出し時)の床反力のピーク値の減少率が大きかった。この結果についても、足長サイズが大きくなることで立脚期に足が前後に滑るよりも足囲サイズが大きくなることで特に前足部が左右方向へ滑ることが床反力ピーク値の減少が大きかったと考えられる。つまり、靴幅を含め容積が大きくなる(空間的余裕がある)ことで、踵接地時からつま先離地時かけて前足部が外反方向に動く時にシューズ内で左右に足の滑りが大きくなるが原因である。推進するための床反力の力積が同じだとすれば、床反力ピーク値が小さくなるとともに、床反力の蹴り出し時の床反力の推移が小さくなる(接地時間は長くなる)と考えられる。このことは、足長サイズよりも足囲サイズが大きくなる場合のほうがF3からF5までに要する時間が長かったことから裏付けられる。足長サイズが大きくなる影響に関しては、第3章にて設定をした紐の締め方調整による効果で前後方向の滑りが多少抑制されていると考えられる。

(3) 歩行動作の再現性について

足長サイズよりも足囲サイズが大きくなる場合のほうが荷重点移動軌跡のなす面積についても大きくなる結果となった。この結果についても、足長サイズが大きくなることで立脚期に足が前後に滑るよりも足囲サイズが大きくなることで特に前足部が左右方向へ滑ってしまうことが、歩行動作の再現性が低下すると考えられる。つまり、靴幅を含めシューズの容積が大きくなる(空間的な余裕がある)ことで踵接地時からつま先離地時かけて前足部が外反方向に動く時に足が左右方向に滑ると考えられる。また足長サイズが大きくなる影響に関しては、第3章にて設定をした紐の締め方調整による効果で前後方向の滑りをある程度抑制していると思われる。

6.5 まとめ

◆ 足長サイズと足囲サイズがともに大きくなる場合(不適合)の影響について

足長サイズと足囲サイズがともに基準サイズより大きくなることで以下の現象がみられた。

- ・ 腓腹筋の活動量が増加し，脚（下腿）の筋負担が増加する。
- ・ 蹴り出し時の床反力のピーク値が小さくなる。また足囲サイズが大きくなることの方が影響は大きい。
- ・ 立脚期における変曲点(F3)からつま先離地時(F5)の時間が長くなる。
- ・ 荷重点移動軌跡のなす面積が大きくなる(歩行動作の再現性は低下する)。

以上をまとめると，足囲サイズが大きくなることでシューズ内の前足部に生まれる空間的なゆとりが生じ，立脚期後期の蹴り出し時に起こる足部の内反によりシューズ内で足が左右方向への滑りが大きくなる。そして，蹴り出し動作にシューズ内で足が左右に滑ることによって，歩行動作に影響を与えることが明らかになった。また靴紐の締め方によって足長サイズの不適合に起こる前後方向への滑りはある程度抑制されてる可能性が示唆された。

これまでに述べてきたシューズ内での足の滑りは図 6.9 に示すような立脚期前後の下腿の解剖学的運動に起因している。踵接地時から全接地時において，下腿は内反方向へ動き，踵立地時からつま先立地時において下腿は外反方向へ動く。また立地の直前も外反方向への動きを続けるとされている²⁸⁾。更にその下腿の動きに応じて，足部のアライメントは，歩行の踵接地時から全接地時（初期接地時）における前足部の内反が起こり，その直後の全接地からつま先離地時にかけて前足部の外反方向への動きが大きくなり，蹴り出し動作時（立脚期後半）での内反方向への動き始めが遅れる^{29) 30)}。つまりこれらの足部の動きから，図 6.10 に示すように足囲サイズが大きくなること（靴の特に中足部から前足部に空間的な余裕ができる）で前足部が外反方向へ動きやすくなり，シューズ内で足が左右に滑ると考えられる。靴紐を締めることではこの現象を抑えられないため，歩行動作に対しては足囲サイズの不適合の影響の方が足長サイズの不適合の影響よりも大きいと考えられる。

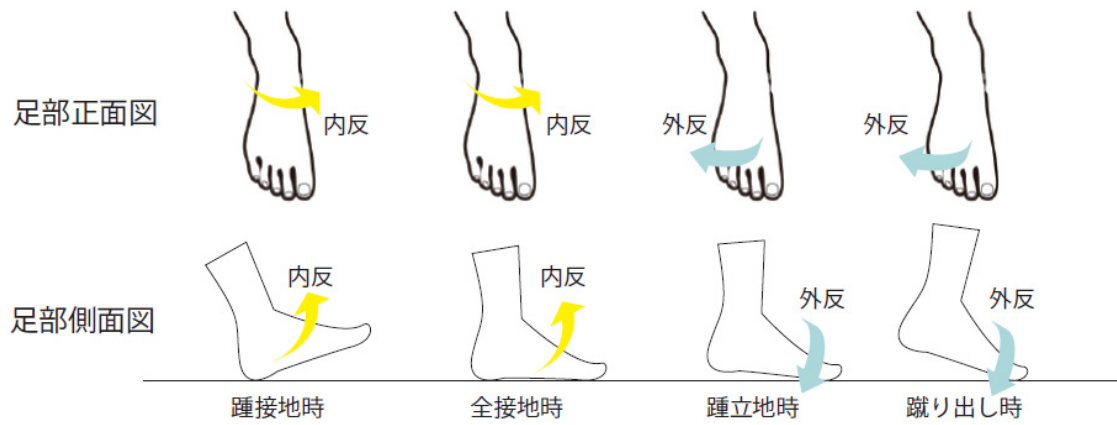


図 6.9 足部の動き

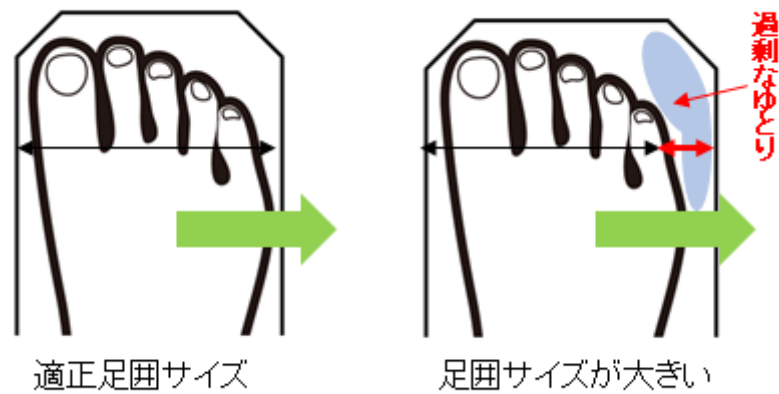


図 6.10 靴内での足の動き

第7章 滑り防止が期待できる足底挿板が
歩行に及ぼす効果

7.1 目的

前章までにおいて，足長サイズと足囲サイズの不適合（サイズが大きくなること）が歩行動作に及ぼす影響を定量的に検討してきた．特に，足囲サイズの不適合の方が蹴り出し時に影響を与えることが明らかになった．

ところで靴のサイズが合わない場合に，足底挿板を靴内にいれることで靴のサイズを調整することがある．足底挿板には多くの機能があり，例えば，衝撃緩衝機能，消臭機能，姿勢保持機能など多岐に渡る．また，足部アーチの保持，足部変形の予防・矯正やスポーツ分野では使用者のパフォーマンス向上に繋がるものも多くある³¹⁾．しかし，靴内での足の滑りに注目した足底挿板はなく，前章までで述べた靴内での足の滑りに対して滑り防止が期待できる足底挿板を入れることで，靴内での足の滑りを軽減し，適正な歩行に近づけることができる可能性がある．また，このような足底挿板を使用した歩行で足長サイズあるいは足囲サイズが大きくなることに伴う歩行動作の所見が改善されれば靴内で足部が滑ることの傍証になる．

そこで，本研究では滑り防止機能が期待できる足底挿板を足長サイズの違う実験試料に用いることで，歩行動作に及ぼす影響について定量的に検討することを目的とする．



7.2 方法

7.2.1 試料

実験試料にはニューバランス社製ランニングシューズ MR749J の足長サイズは 26.0cm/27.0cm/28.0cm の 3 種類，足囲サイズ(ウィズ)D とした．第 2 章にて設定した図 7.1 の赤丸で示した 3 箇所に小型の圧力センサシート (Flexi Force) を挿入して， $35 \pm 5 \text{gf/cm}^2$ を目安に紐の締め方を調節し，シューズの装着状態を同様にした．また足底挿板は，表面素材にナイロン素材を使用したもの（足底挿板 A）と，その表面部に樹脂のドット模様を配置したもの（足底挿板 B）の 2 種類を使用した．足底挿板の摩擦係数は図 7.2 に示すとおりである．なお，シューズサイズと足底挿板による影響を検証するために，靴下は前章までと同様に同一のものを使用した．



図 7.1: 実験試料 (○印は圧力計測箇所)

足底挿入	ベース素材	表面加工	動摩擦係数	静止摩擦係数
	ナイロン	加工なし		
足底挿入 A			0.86	0.43
足底挿入	ベース素材	表面加工	動摩擦係数	静止摩擦係数
	ナイロン	樹脂プリント		
足底挿入 B			1.28	0.72



足底挿板 A 足底挿板 B

(a) 足底挿板の表面感

(b) 足底挿板の種類

図 7.2: 足底挿板

7.2.2 被験者

被験者は健康で足に大きな受傷歴のなく，靴のサイズ表示とウィズ表示が 26cm でウィズ D が適正だと思われる利き足が右足の男子大学生 5 名（年齢 21.6 ± 1.4 歳，身長 168.8 ± 2.4 cm，体重 58.6 ± 5.1 kg）とした．詳細は表 7.1 に示す．実験に先立ち，実験中に想定される危険や安全への配慮，個人情報管理などに関して説明し同意を得た上で実験を行った．

表 7.1 被験者データ

被験者	年齢	身長(cm)	体重(cm)	足長(mm)	足囲(mm)
A	21	165	51	238	231
B	22	170	61	240	240
C	22	171	61	248	232
D	22	170	64	238	250
E	23	168	56	254	242

7.2.3 実験試技と計測項目，装置

前章までの実験と同様に，被験者には裸足の状態になってもらい，足長・足囲・足幅の 3 つの足部形態計測を行った．その後，実験用として用意した同一の靴下を履いてもらった．右足の前脛骨筋と腓腹筋のそれぞれに EMG センサ（DELSYS 社製）を取り付けた．その後，前脛骨筋と腓腹筋それぞれの最大随意筋収縮（MVC）の計測を行った．筋電位データは AD 変換器（MP150, BIOPAC System 社製）を介し，サンプリング周波数を 1000Hz でノートパソコンに収録した．MVC の計測については，徒手筋力測定法に従って，前脛骨筋では足首を垂直に固定した状態から，被験者の最大の力で約 10 秒間背屈運動をしてもった．腓腹筋では，足首を垂直に固定した状態から，被験者の最大の力で約 10 秒間底屈運動をしてもらい MVC の計測を行った¹⁰⁾．その後，基準サイズ(26.5cm)のシューズを履き直立姿勢の状態で小型の圧力センサシート(ニッタ(株)製 Flexi Force)を用いて，図 7.1 で示した 3 箇所の圧力調整を行った後に歩行実験を行った．シューズの紐の締め方調整は試料ごとに歩行試技前に行うこととした．図 7.3 実験室内の歩行路上を各試料について，26.0cm にて足底挿板 A にて試技を実施し，その後

足底挿板 B の試技を実施した。26.0cm 終了後, 27.0cm その後 28.0cm を履いて 26.0cm と同様に被験者には実験室内に設置した歩行路上を歩行してもらった。右シューズの足底挿板下に, 足型の薄型圧力センサシート(ニッタ(株)F-scan)を敷いて履いてもらい, 同時に右下腿の前脛骨筋と腓腹筋に EMG センサを取り付けた。

また, 歩行路中央に設置した床反力計である 3 点支持型フォースプレート(株式会社ディケイエイチ)を用いて, 立脚期の床反力を計測した。

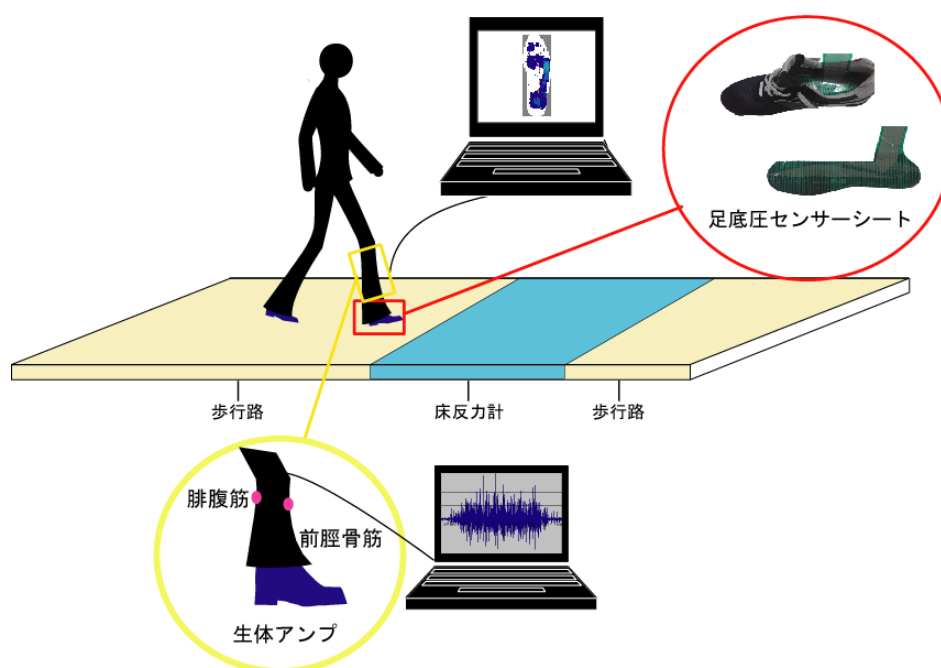


図 7.3: 実験の概要

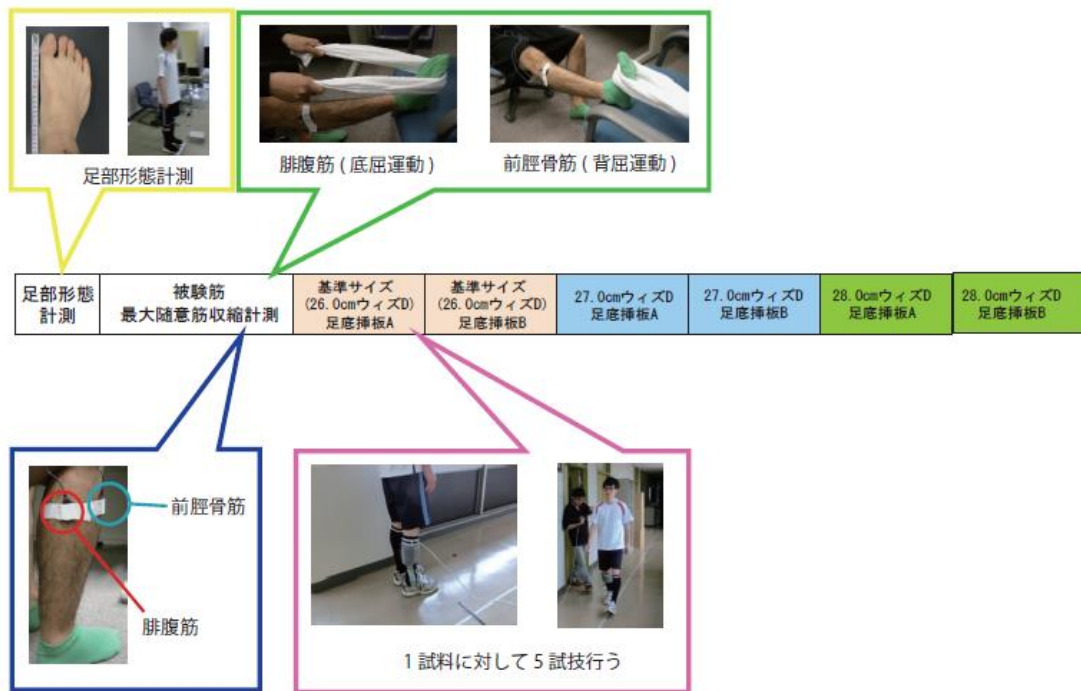


図 7.4: 実験プロトコル

7.2.4 解析方法

筋電図計測の解析には数値解析ソフト Mathematica を用いた。また、荷重点移動軌跡がなす面積の算出では MATLAB および Adobe Photoshop を使用した。

- ◆ 立脚期の前脛骨筋と腓腹筋の %MVC
- ◆ 立脚期の床反力 (接地時間を含む)
- ◆ 荷重点移動軌跡のなす面積

解析方法は第 4 章と同様で、4.2.4 解析方法に述べたとおりである。

7.3 結果

◆ 立脚期の前脛骨筋と腓腹筋の%MVCについて

歩行動作時に得られた各足長サイズにおける腓腹筋の%MVCの平均値と増加率を図7.5に示す。足底挿板Aと足底挿板Bで各サイズを比較すると、それぞれの足長サイズで腓腹筋の筋活動が低い傾向となった。足底挿板Aに比べて足底挿板Bの増加率は26cmでは-3.6%、27cmでは-8.3%、28cmでは-12.5%となった。

これらの結果から、滑り防止が期待できる足底挿板Bを入れることにより、立脚期の蹴り出し動作に関わる腓腹筋の筋活動量は低下する可能性が示唆された。なお、前脛骨筋について顕著な増減傾向はみられなかった。

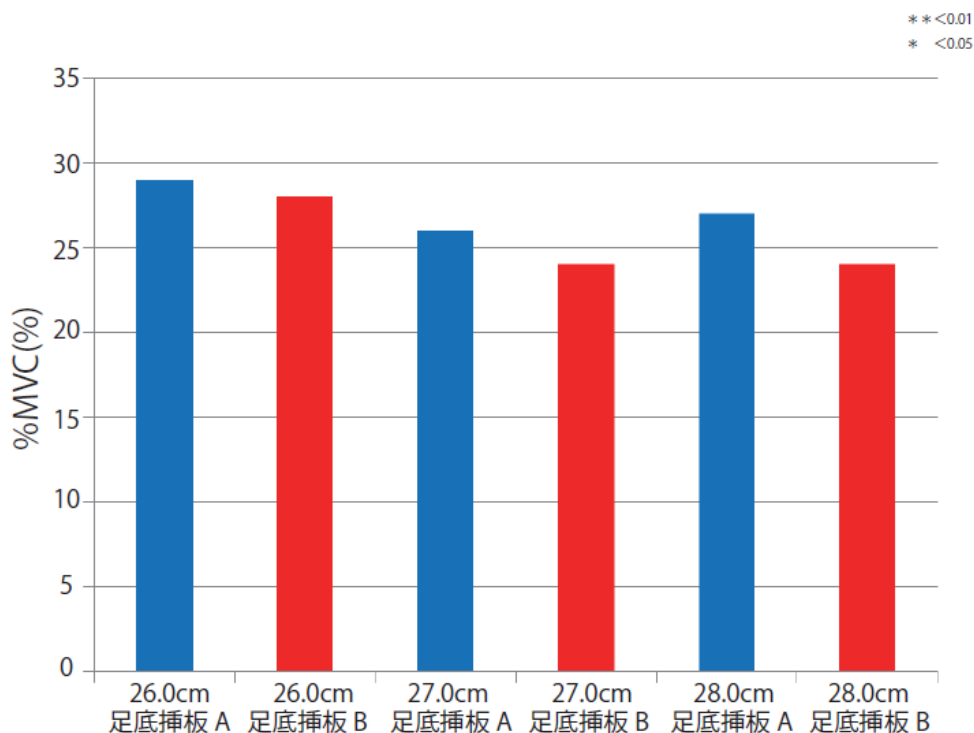


図 7.5 腓腹筋における積分筋電位増加率

表 7.2 腓腹筋における積分筋電位の試料間における増加率

積分筋電位 増加量	足底挿版A	足底挿版B	検定
			A/B
26.0cm	基準値	-3.6%	
27.0cm	基準値	-8.3%	
28.0cm	基準値	-12.5%	

◆ 立脚期における床反力ピーク値と接地時間について

床反力計から得られた蹴り出し時の床反力ピーク値 (F4) を図 7.6 に示す。足底挿版 A と足底挿版 B を比較した場合、26cm では足底挿版 B の値が有意 ($p < 0.01$) に高かった。また、足長サイズが 28cm の場合は、足底挿版 B の値が有意 ($p < 0.01$) に低かった。なお、図 7.7 に示すように立脚期全体の時間については顕著な増減傾向はみられなかった。

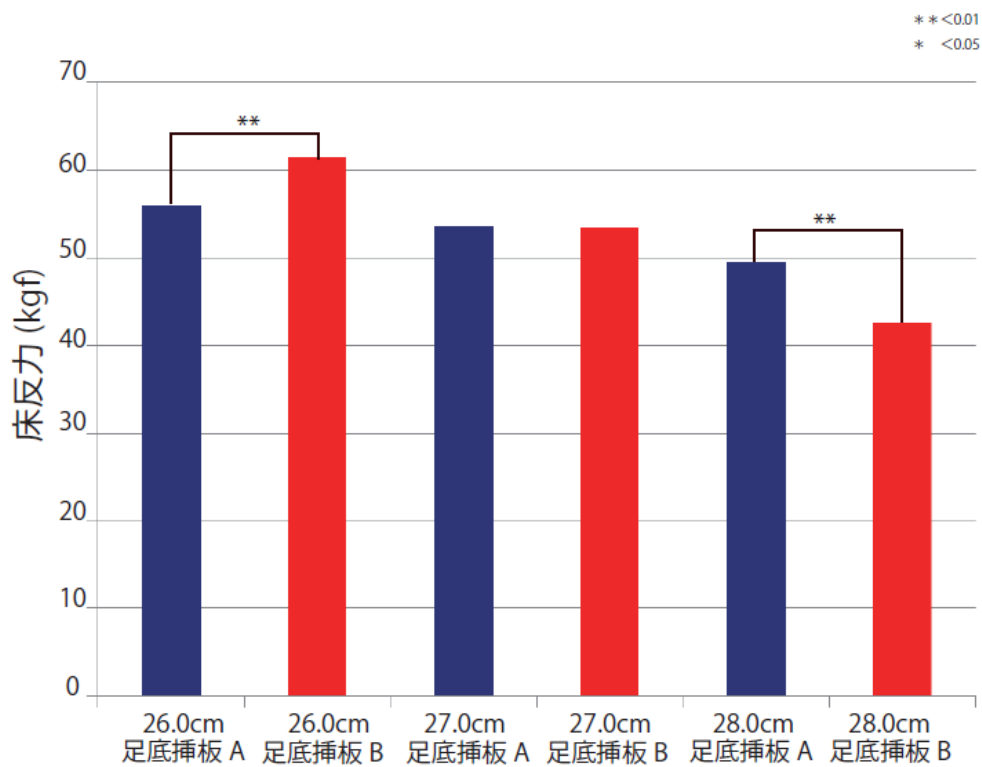


図 7.6 蹴り出し時 (F4) の床反力のピーク値

表 7.3 床反力の F4 蹴り出し時のピーク値の試料間における増加率

床反力増加量	足底挿版A	足底挿版B	検定
			A/B
26.0cm	基準値	9.9%	**
27.0cm	基準値	0.0%	
28.0cm	基準値	-16.0%	**

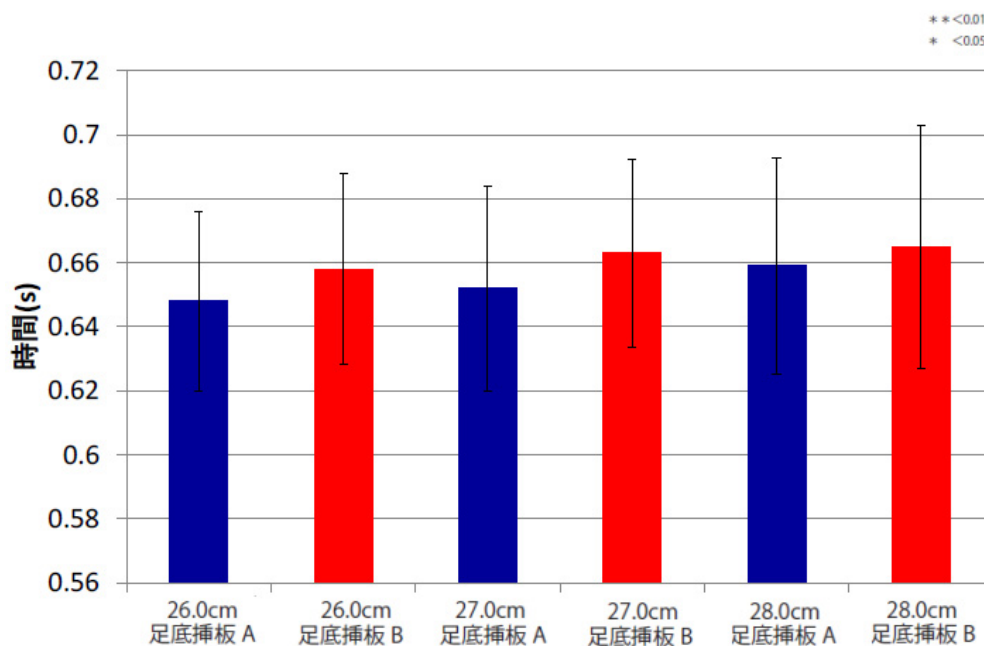


図 7.7 立脚期全体の時間

◆ 荷重点移動軌跡のなす面積について

F-scan によって得られた立脚期の荷重点移動軌跡のなす面積の平均値を図 7.8 に示す。足底挿板 A と足底挿板 B を比較すると、全ての足長サイズにおいて足底挿板 B のほうが荷重点移動軌跡のなす面積が小さかった。特に 26.0cm と 28.0cm で有意差 ($p < 0.01$) が認められた。足底挿板 A に比べて足底挿板 B の増加率は 26cm では -33.1%、27cm では -11.0%、28cm では -19.6% となった。

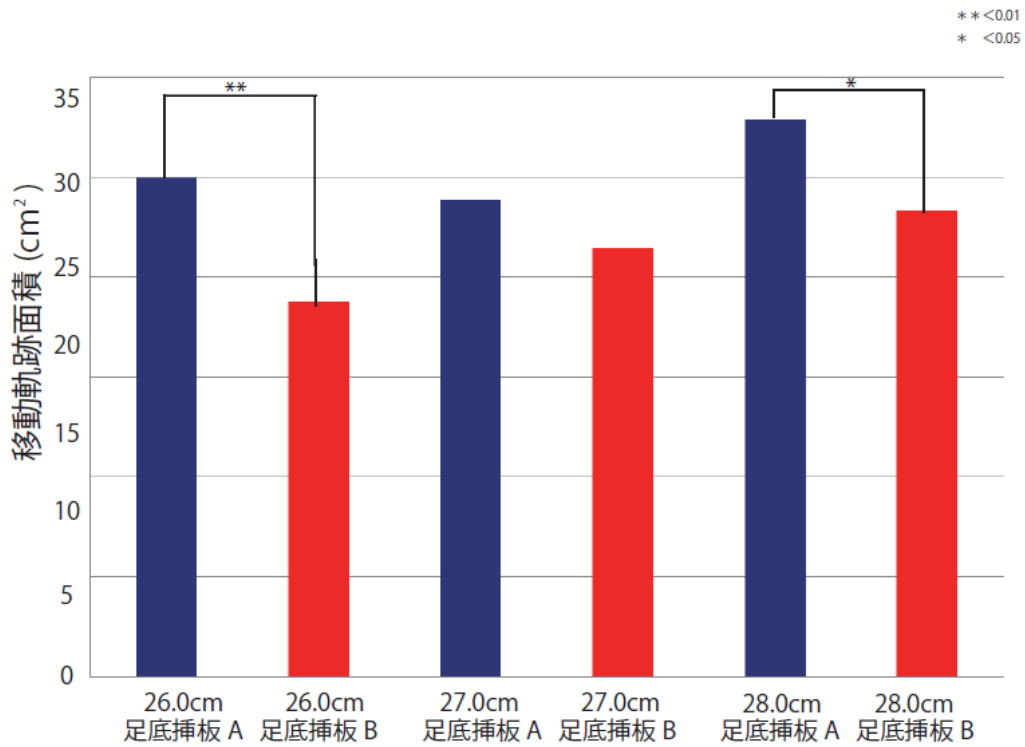


図 7.8 荷重点移動軌跡のなす面積の平均値

表 7.4 荷重点移動軌跡のなす面積の試料間における増加率

荷重点の移動軌跡の なす面積の増加量	足底挿版A	足底挿版B	検定
			A/B
26.0cm	基準値	-33.1%	**
27.0cm	基準値	11.0%	
28.0cm	基準値	19.6%	*

7.4 考察

蹴り出し時における腓腹筋の筋活動量の結果より、滑り防止が期待できる足底挿板 B を使用した場合は、足長サイズが 28.0cm の場合に有意に低下した。これは靴内での足の前後方向への滑りを足底挿板が抑制したことで蹴り出す時にロスすることなく少ない筋活動で同一動作を遂行したものと考えられる。滑り防止が期待できる足底挿板は、靴内での滑り防止効果によって足長サイズが 2cm 以上大きくなるような場合に蹴り出しの効率を上げる可能性がある。また、適合サイズよりも 2cm 大きな 28.0cm で蹴り出し時の筋活動量が足底挿板 B で改善したことから、足長サイズ 28.0cm で筋活動の増加はシューズ内での足部の（前後方向への）滑りである可能性が高いことが明らかになった。26.0cm の適正サイズで床反力ピーク値に関して、足底挿板 B の方が大きくなることについては今後の検討課題である。

7.5 まとめ

滑り防止が期待できる足底挿板が歩行動作に与える影響は、蹴り出し時の腓腹筋の筋活動量と床反力ピーク値の割合から滑り防止機能を有する足底挿板は靴内での滑り防止効果によって蹴り出しの効率を上げる可能性がある。また、荷重中心点移動軌跡のなす面積が小さくなる傾向から、立脚期の靴内での滑り防止によって歩行動作の再現性を向上させる可能性が示唆された。また、足底挿板 B を用いた靴内での滑りの防止の範囲としては本章の結果から足長の適合サイズから大きい場合も効果がある可能性も示唆された。

滑り防止が期待できる足底挿板を用いた実験によって、靴内での足部の滑りの存在も間接的に検証できた。今後の研究課題として、足囲サイズが大きくなった場合のこの足底挿板の効果や適合サイズで足底挿板 B を使用した時の床反力ピーク値の増加などの解明などがあげられる。

第 8 章 結 言

本研究では形状的な適合だけではなく機能的適合を検討するため、立脚期の下腿の筋活動や床反力、歩行感覚に注目し歩行動作に及ぼす影響を定量的に検証した。

本稿では1章で研究背景と目的を述べ、2章では用語定義、解説をした。3章では靴の装着条件の設定、4章では靴の足長サイズの違いが歩行動作へ及ぼす影響、5章では靴の足囲サイズの違いが歩行動作へ及ぼす影響、6章では靴の足長サイズと足囲サイズの違いが歩行動作に及ぼす影響、7章では滑り防止が期待できる足底挿板が歩行に及ぼす効果について検証を行った。以下に結論を示す。

◆ 靴の装着条件の統一（第3章）

靴の装着条件を設定する方法として、計測箇所としては③足高点（結び目）とB内側鳩目最上部およびC外側鳩目最上部の3箇所とし、それぞれの圧力は 35 ± 5 (gf/cm²)を目安とした。また、計測姿勢は立位が適当であった。

◆ 靴の足長サイズの違いが歩行動作へ及ぼす影響（第4章）

足長サイズが基準サイズ(26.5cm)より大きくなると全接地時および蹴り出し時に靴内で足が滑ると考えられる。つまり、靴の足長サイズが大きくなると蹴り出し時に靴内での立脚期中期である全接地時には足は靴内で前方方向に滑り、立脚期後期の蹴り出し時には足は後方方向に滑りが生じる。滑らない時と同様には蹴り出せず歩行動作の再現性は低下し、荷重点移動軌跡も一定ではなくなる。このシューズ内で足の後方への滑りで蹴り出す力をロスするが、いつもと同様の推進力を得ようとして腓腹筋の筋活動量を増加させ、脚(下腿)への負担が増すと考えられる。

◆ 靴の足囲サイズの違いが歩行動作へ及ぼす影響（第5章）

足囲サイズが基準サイズ(D)より大きくなることで、シューズ内の前足部に空間的な余裕ができ、足部が全接地時からつま先離地時にかけて前足部は外反方向への動くことに伴って、蹴り出し時に靴内で足が左右に滑ると考えられる。足長サイズあるいは足囲サイズがおおきくなることによる歩行動作への影響は、共通して蹴り出し動作時の靴内での前足部の滑りが原因だと考えられる。

◆ 靴の足長および足囲サイズの違いが歩行動作へ及ぼす影響（第6章）

足囲サイズが大きくなることでシューズ内の前足部に生まれる空間的なゆとりが、立脚期後期の蹴り出し動作時に起こる足部の内反により靴内で足が左右方向への滑りが生じる。足長サイズよりも足囲サイズの方が、歩行動作に与える影響は大きいことが明らかになった。足長サイズが大きいという不適合は、靴紐の締めることによって多少抑制される可能性が示唆された。

◆ 滑り防止が期待できる足底挿板が歩行に及ぼす効果（第7章）

滑り防止が期待できる足底挿板が歩行動作に与える影響は、蹴り出し時の腓腹筋の筋活動量と床反力ピーク値の結果から、シューズ内での滑り防止効果によって蹴り出し動作の効率を上げることが明らかとなった。また、荷重中心点移動軌跡のなす面積が小さくなる傾向から、立脚期の滑り防止によって歩行動作の再現性を向上させる可能性も示唆された。さらに、足底挿板を用いた靴内での滑りの防止の範囲としては足長の適合サイズから大きい場合に効果がある可能性も示唆された。

今回の研究から，足長サイズの不適合よりも足囲サイズの不適合が歩行動作に与える影響が大きいことが示唆された，適合サイズを選ぶには，靴型と足型のフィッティングの中で，足長サイズに加え足囲サイズの適合を意識する必要がある．また，メーカーのサイズ表記による判断に加え，候補となる靴で数歩の歩行し，特に靴内での足の左右への滑りが少なく，蹴り出し動作がうまくできるのかをチェックすることが望ましいといえる．

日本の市場では靴のサイズは足長サイズのみが展開され，同一モデルで複数の足囲サイズ（ウィズサイズ）を揃えるブランドは少なく，ユーザーは足囲サイズが合わない場合は足長サイズを1サイズ上げるなどして対応することが実情である．また，靴に必ず存在する捨て寸も適正サイズ選びを行う上では非常に重要である．現状はデザインを重視することで必要以上に捨て寸を設ける靴なども市場に多く存在する．また，捨て寸の考え方もシューズメーカー各社の基準が存在し設計者や開発者の感や経験値にほぼ依存しているのが実態である．現状，捨て寸は足長サイズに対してのみ取ることになっており，足囲サイズに関しては捨て寸という考え方自体が存在していない．しかし，本研究の結果から被験者の心理評価で足囲サイズ(D)に関して被験全員がJIS規格適正サイズより2サイズ大きなサイズ(2E)のフィット感がいいという評価であった．本論文で結論の一つである足囲サイズの適合が重要だという結果とは大きく乖離をしている．このギャップの改善には，足囲サイズに捨て寸の考え方を導入することや日本人に適切な足囲サイズの再設定を行う必要がある．シューズに関わるメーカーのみならず業界をあげて取り組むことが望まれる．このことで間違ったサイズ選びを多少なりとも避けることができると考えられる．

現在，いくつかのシューズメーカーや小売店はユーザーに足型計測などの形態適合性のフィッティングサービスを提供している．今後の課題として，数歩で歩行動作（特に蹴り出し動作）がうまくできるのかをチェックするシステムやサービスの開発，提供があげられる．これらのことが，現状よりもさらに適合性が高い靴を選ぶことを可能にするばかりでなく，質の高い健康的な生活をもたらし，豊かな社会作りに貢献すると考える．

参考文献

- 1) 野田雄二：足の裏からみた体：講談社：1998年1月
- 2) 総務省：「国勢調査」および「人口推計」，国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口：2012年1月
- 3) 文部科学省：体力・スポーツに関する世論調査：2013年1月
- 4) 内閣府：平成21年体力・スポーツに関する世論調査：2009年1月
- 5) 福岡正信：靴の適合性と機能評価：繊維製品消費科学：1993年4月
- 6) 山崎信寿：足と靴の適合性：バイオメカニズム学会誌，VOL. 7：1983年
- 7) Rossi WA, Tennant R：PROFESSIONAL SHOE FITTING. 初版：プレジデント社編，日本製靴：81-109：1987年
- 8) 福岡正信：シューズはどう科学されるのか—シューズ機能の評価方法—：日本機械学会誌 95(888)：984-988：1992年
- 9) 中村隆一ほか：基礎運動学：医歯薬出版株式：333-352：2002年
- 10) 高橋彬：保健・体育の解剖学：日本体育社：89-90，97：1978年
- 11) 加藤象二郎ほか：初学者のための生体機能の測り方：日本出版サービス：159-161：2005年
- 12) 一般社団法人 足と靴と健康協議会
<http://fha.gr.jp/ashi/size#>，2015.11.10
- 13) 細谷聡：婦人靴のヒール高が歩行に及ぼす影響：日本靴医学会，21(2)：51-57：2007年
- 14) 比護久仁子：靴の履き心地簡易評価システム開発：信州大学繊維学部感性工学科卒業論文：2002年
- 15) 野川英剛ほか：不適合性リスク評価を目指した足シューズ間機械的特性の計測：日本機械学会 04(26)シンポジウム講演論文集：2004年
- 16) 足立和隆ほか：足底圧分布の測定を主体とした総合的歩行分析システムの開発：バイオメカニズム(11)：65-75：1992年
- 17) 河合良訓，肉単～語源から覚える解剖学英単語～：エヌ・ティイー・エス：81-83：2004年
- 18) J. W. ROHEN ほか：解剖学カラーアトラス第5版：医学書院：442-445：2004年
- 19) 日本工業規格(JISS5037)：靴のサイズ：経済産業省，1998年

- 20) 林亮誠, 細谷聡 : 靴のサイズと歩行動作の関係に関する研究 : 靴の医学 23(2) : 109-114 : 2009年
- 21) 林亮誠, 細谷聡 : 靴の足囲サイズと歩行動作の関係に関する研究 : 靴の医学 25(2) : 78-83 : 2012年
- 22) 林亮誠, 細谷聡, 佐藤雅人 : 靴の足長および足囲サイズの不適合が歩行動作に及ぼす影響 : 靴の医学 26(2) : 58-63 : 2013年
- 23) 野田雄二 : 足の裏からみた体 : 講談社 : 1998年
- 24) 櫻井寿美, 櫻井一男 : フットウェアの介入によるウォーキング教室 Y 町における転倒防止予防事業靴 : 靴の医学 25(2) : 106-110 : 2011年
- 25) 岡本海斗, 鳥居俊 : ベアフットシューズがランニングフォームに及ぼす影響 : 靴の医学 26(2) : 22-25 : 2012年
- 26) 栗川幹男, 奥壽郎 : スケートボード動作時にスニーカーの高さが下肢筋活動量に与える影響 : 靴の医学 26(2) : 31-34 : 2012年
- 27) 仲澤一也, 吉田伸太郎, 佐々木克則 : 靴の医学 26(1) : 2012年
- 28) Levens AS et al : Transverse raocation of the semgments of the lower extremity in locomotion. J Bone Joint Surg Am : 859-872 : 1948年
- 29) Monaghan GM : Forefoot angle determines duration and amplitude of Pronation during walking : Gait Posture 38 : 8-13 : 2013年
- 30) 石井慎一郎 : 動作分析臨床活用講座 : MEDICAL VIEW : 168-190, 2013年
- 31) 水口慶高, 木寺英史 : 足についての本当の知識 : 実業日本社, 82-124 : 2013年
- 32) 永井聡 : インソール理学療法用語～正しい意味が分かりますか? : PTジャーナル : 2007年
- 33) 山崎信寿, 鈴木隆雄, 河内まき子, 楠本彩乃, 西澤哲 : 足の事典 : 朝倉書店 : 1999年
- 34) 市原清志 : バイオサイエンスの統計学 : 南江堂 : 1996年
- 35) 田中敏, 山際勇一郎 : 教育・心理統計と実験計画法 : 教育出版, 1996年
- 37) Tillman MD, et al : Lower extremity coupling parameters during locomotion and landing : JAppl Biomech 21 : 359-370 : 2005年

- 38) 樋口貴広, 建内宏重 : 姿勢と歩行 協調からひも解く : 三輪書店 : 2015 年
- 39) 内田俊彦, 藤原和朗, 高岡淳, 佐々木克則, 横尾浩 : 外反母趾の足サイズと靴サイズに関する検討 : 靴の医学 18(2) : 47-51 : 2004 年
- 40) 長谷川正哉, 金井秀作, 島谷康司, 大田尾浩, 小野武也, 沖貞明, 大塚彰, 田中聡 : 「自覚する」靴サイズと「着用する」靴サイズ「足型に基づく」靴サイズの相違 : 日本理学療法学会 2012(0) : 2013
- 41) Daniel E. Lieberman¹ : Madhusudhan Venkadesan, William A. Werbe, Adam I. Daoud, Susan D'Andrea, Irene S. Davis, Robert Ojiambo Mang¹, Eni⁶ & Yannis Pitsiladis, Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners : Nature 463 : 531-535 : 2010 年
- 42) 加藤達雄, 小川雅志, 福田慎吾, 林準平, 西島吉典, 吉澤正尹 : 筋電図法からみた玉砂利および砂路面での歩行特性 : 体力科学 57(4) : 515 : 2008 年
- 43) 加藤達雄, 岩田怜, 福田慎吾 : 坂道歩行中の筋活動様式ならびにその定量分析 : ウォーキング研究 (11) : 201-206 : 2007 年
- 44) M. PAT MURRAY, A. BERNARD DROUGHT, ROSS C. KORY : Walking Patterns of Normal Men : J Bone Joint Surg Am, 46 (2) : 335-360 : 1964 年
- 45) 和田郁雄, 池田威, 林信彦, 大藪直子, 関谷勇人, 多和田忍, 土屋大志, 蟹江良一, 松井宣夫 : ハイヒール靴歩行の動力学的検討 : 日本リハビリテーション医学会誌 31(12) : 1995 年
- 46) 松坂誠應, 山口善久, 寺本司, 鈴木良平 : 靴ヒール高が前足部におよぼす影響 : 日本リハビリテーション医学会誌 31(12) : 994-995 : 1994 年
- 47) 細谷聡 : 足部とフットウェア : 理学療法 24(5) : 720-726 : 2007 年
- 48) 鈴木良平 : 足のバイオメカニクスと歩行解析 : 日整会誌 31 665-681 : 1987 年
- 49) 野川英剛, 宇治橋貞幸, 持丸正明, 河内まき子 : ランニング・シューズのサイズ選びにおける心理物理的決定要因 : ジョイント・シンポジウム講演論文集 : スポーツ工学シンポジウム : 199-202 : 2003 年

発表論文リスト

- 論文 1：林亮誠，細谷聡，佐藤雅人：靴の足長および足囲サイズの不適合が歩行動作に及ぼす影響
靴の医学，Vol.26 No.2，58頁～63頁（2013年3月掲載）
- 論文 2：林亮誠，細谷聡，佐藤雅人：靴のサイズ不適合が蹴り出し動作に及ぼす影響
靴の医学，Vol.27 No.2，78頁～83頁（2014年3月掲載）
- 論文 3：林亮誠，日下部祐一，細谷聡：滑り防止機能を有する足底挿板が歩行に及ぼす効果
靴の医学，Vol.28 No.2，39頁～44頁（2015年3月掲載）
- 論文 4：Ryoma Hayashi, Satoshi Hosoya: Effect of Improperly Sized Shoes on Gait : Journal of Fiber Bioengineering and Informatics Vol.7 Issue(3):327-337(2014年10月掲載)
- 論文 5: Satoshi Hosoya, Ryoma Hayashi, Yuko Yoshino, Kenji Saito, Yosuke Horiba : Research on Heel Height of Women' s Shoes Based on Walking Analysis Textile Bioengineering and Informatics Symposium 2012(TBIS2012)

謝辞

本論文の執筆に当たりまして，信州大学繊維学部感性工学課程 細谷聡教授，高寺政行教授，上條正義教授，吉田宏昭准教授，新潟大学牛山幸彦教授にひとかたならぬご教授ご鞭撻を賜りました．心より感謝申し上げます．

研究のきっかけを与えてくださり，大学在学中より約 10 年間にわたりまして研究の基礎，研究方法ならびに計測機器の使用技術，論文作成など本研究の全てをご指導頂き，論文執筆にあたって直接ご指導を頂きました信州大学繊維学部感性工学課程 細谷聡教授に深く感謝申し上げます．

靴医学の専門であり，本研究のご助言を頂きました佐藤整形外科 佐藤雅人先生に感謝申し上げます．また，本研究の被験者として長時間協力を頂きました信州大学繊維学部感性工学課程の学生の皆さんに感謝致します．

最後に職務と研究の両立に理解と協力を惜しまず，理解をくださった家族に感謝します．