

原著

妊婦体験ジャケット装着時における跨ぎ動作の 運動学的特性について

柏木香澄¹⁾、森明子²⁾、山崎せつ子²⁾、宮本俊朗²⁾、永井宏達²⁾、日高正巳²⁾

1) 吉田病院附属脳血管研究所、2) 兵庫医療大学リハビリテーション学部

Kinematic Characteristics of Stepping over when Wearing a Pregnancy Simulating Jacket

Kasumi KASHIWAGI¹⁾, Akiko MORI²⁾, Setsuko YAMASAKI²⁾,
Toshiaki MIYAMOTO²⁾, Koutatsu NAGAI²⁾, Masami HIDAKA²⁾,

1) Yoshida Hospital. Cerebrovascular Research Institute,

2) School of Rehabilitation, Hyogo University of Health Sciences

抄 録

【目的】妊婦は妊娠による身体的変化により、転倒リスクが高まる。転倒原因はふらつきや躓きによるものが多いとされているが、転倒が生じる機構は不明である。本研究では躓きやふらつきが起りやすいと考えられる障害物回避のための動作である跨ぎ動作に着目し、跨ぎ動作時の運動学的特性を明らかにすることを目的とした。【方法】健常成人女性24名を対象に、妊婦体験ジャケットを用いて妊娠後期の妊婦モデルを設定した。同一被験者で非装着条件と装着条件の計測を行い、障害物は高さ10cmとした。測定項目は、最大拳上距離、足元の視界の制限、母趾の軌跡頂点、障害物と母趾の距離（以下：足部クリアランス）、下肢関節角度、踏切距離、跨ぎ動作中の重心移動距離、Functional Reach Test（以下：FRT）とし三次元動作解析装置を用いて解析・算出を行った。【結果】装着条件で足元の視界の制限の増加、踏切距離の延長、足部クリアランスの低下、足関節背屈角度の増加、重心移動距離の増加、FRTの減少がみられた。【考察】装着条件においては腹部膨満の影響で足元の視界が制限され、障害物の位置を誤認し踏切距離が延長した。これは、軌跡頂点が障害物の手前に位置し足部クリアランスが低下し、接触に繋がる可能性がある。また、装着条件における跨ぎ動作は、重心移動距離が増加していた。そのため、よりバランス機能を必要とすることが分かった。しかしFRTは減少していたため、バランス機能の低下が生じていた。これらのことより、跨ぎ動作の際はふらつきが生じる可能性が高くなると考えられる。【結論】跨ぎ動作において、妊娠後期では躓きやふらつきによる転倒に至る可能性がある。腹部膨満による足元の視界の制限から距離感を誤認する可能性もあり、今後は実際の妊婦でも検討していく必要がある。

キーワード：妊婦体験ジャケット、転倒、跨ぎ動作

I はじめに

妊婦は妊娠経過により心身に様々な変化が生じるといわれている。その結果として転倒率も高く、武田ら(2016年)による日本の妊婦を対象としたアンケート調査において、転倒率は19.9%とされている¹⁾。転倒場面は、歩行・階段昇降などの日常生活動作で多く、その中でも道路・玄関・居室などで躓きやふらつきによるものが多い¹⁾。これは、妊娠による身体的変化の誤認や、環境への不注意が原因として考えられているが¹⁾、具体的になぜ躓きやふらつきによる転倒が多いのかは明らかになっていない。

妊娠による身体的変化には、妊娠経過に伴う腹壁の前方突出により、身体重心位置の前上方への変位が生じ、代償として体幹後傾位をとることがあげられる²⁾。姿勢の変化はバランス能力や動作にも影響を与え、妊娠経過に伴いバランス能力が低下するとされており³⁾、歩行への影響も報告されている^{4, 5)}。妊婦は出産に向けて骨盤が開いてくる影響でややワイドベースの歩行となり、足尖クリアランスが低下する^{4, 5)}。この足尖クリアランスの低下は躓きに繋がり⁴⁾、障害物や段差と接触するリスクが高まる。接触後のふらつきに対しても、妊婦はバランス能力も低下していることから、対応が不十分となる可能性がある。一般的に障害物や段差への対応としては跨ぎ動作や回避動作が考えられる。その中の跨ぎ動作においては、障害物1歩前ですでに障害物に対する視覚処理は終了していると報告されている⁶⁾。腹壁の前方突出により足元の視界に制限が生じる可能性のある妊婦では、遠近の距離感にも誤差があると考えられ環境への対応が不十分となっている可能性がある。本研究では妊婦モデルを対象に転倒の原因とされる躓きやふらつきが起りやすい場面である跨ぎ動作を測定することで、運動学的特性を明らかにすることを目的とした。なお、妊婦体験ジャケットは装着方法を工夫することによって、実際の妊婦の姿勢・動作に近くなるとされており⁵⁾、本研究ではジャケットを用いた研究を行うこととした。

II 方法

妊婦体験ジャケットによる妊婦モデルを設定し、非装着条件(以下：非装着時)と装着条件(以下：装着時)での障害物跨ぎ動作を比較し、妊婦の跨ぎ動作の特性を抽出した。動作解析データは三次元動作解析装置(以下：VICON インターリハ株式会社、NEXUS2)を

用いた。

対象は、2015年11月から2016年8月までに兵庫医科大学に在学する健常成人女性で、本研究の目的に同意が得られた24名とした。除外基準は①現在治療中の整形学的・神経学的・内科的疾患を有する者、②腰部に関する病名が既往歴としてある者、③妊婦体験ジャケット着用が困難である者、④アルコール消毒が禁忌である者、⑤矯正視力、裸眼視力が両眼で0.2以下の者とした。基本情報は、年齢・身長・体重・Body Mass Index (以下：BMI)・転子果長とし、BMIは身長・体重から計算した。

妊婦体験ジャケット(京都科学社製)は、妊娠後期を想定し総重量は8kgのものを使用した(図1)。水野らはジャケット着用時に装着の目安を研究対象者の臍部延長上にジャケットの腹部最大隆起点が一致するように設定すると妊娠後期の妊婦に近づける⁵⁾と報告している。この報告をもとに、臍部とジャケットの頂点が合致するように高さを設定し、本研究では個体差を軽減させるため、全ての被験者において、上後腸骨棘で固定テープが交差するように設定した。

動作分析に使用したVICONのソフトはNEXUS2



図1. 妊婦体験ジャケットとマーカー設置位置

母趾の軌跡を解析するために、母趾爪上のマーカーを独自設定で追加している。ジャケット装着の際、テープの交差点を上後腸骨棘で統一したため、交差点に上後腸骨棘のマーカーを設置した。

で、解析モデルはPrag-in gait full body、サンプリング周波数は200Hzと設定した。VICONマーカーはインターリハ社製を使用した。マーカー設置位置は両側肩峰、第7頸椎棘突起、胸骨柄、両側上前腸骨棘、両側上後腸骨棘、両側大腿部、両側膝関節裂隙、両側下腿部、両側外果、両側第2中足骨頭、両側踵部、両側母趾爪上の計22点とした。装着によるマーカー部位の誤差に関してはテープの交差部位を指定する対応を行った。

測定項目は以下の通りである。Functional Reach Test (以下：FRT) はメジャーを用いて計測した。最大挙上距離、足元の視界の計測 (図2) はVICONにて解析した。最大挙上距離は静止立位から安全に行えると思う範囲で下肢を挙上した際の床面から足先までの距離の最大値とした。最大挙上距離の計測は右下肢で統一し、計測時の足関節は背屈0°で実施した。足元の視界の計測は、障害物跨ぎ動作に必要な最低限の視覚処理情報にあたる一步半⁶⁾先の地点を注視した状態で前進し、障害物が視界から外れた地点における障害物と母趾の距離を制限された視界の範囲と定義し計測を行った。跨ぎ動作の評価として、足先離地から踵接地までの母趾の軌跡頂点、足先離地から踵接地までの重心移動距離、母趾通過時点の股関節屈曲角度、足関節背屈角度をVICONにて測定した。また、障害物の手前を通過する瞬間の母趾と障害物の距離を足部ク

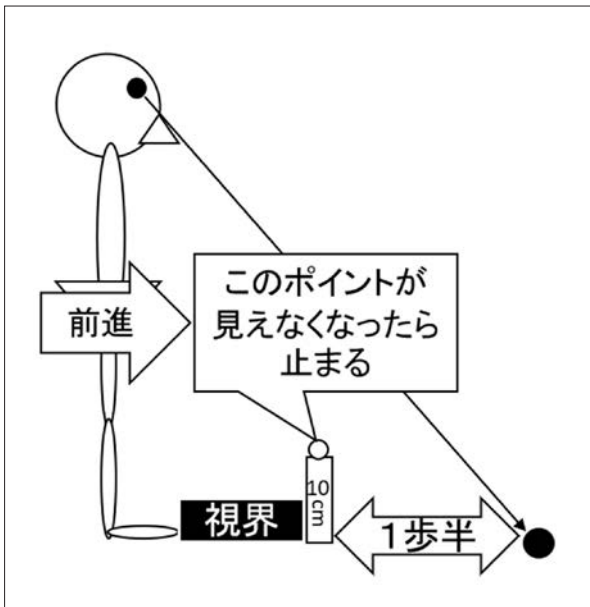


図2. 足元の視界

障害物より1m先の地点を注視した状態で前進し、障害物が視野から外れた時点での母趾と障害物の距離を足元の視界の制限として計測した。

リアランスと定義し、実際の挙上距離から障害物の高さを引いて算出した。他に、足先離地と障害物の手前の距離を解析上の数値より算出した。そして、跨ぎ動作をスティックピクチャにて比較した。

計測の流れを以下に述べる。まず、非装着時の計測を行った。被験者に対しVICONのマーカーを貼付し、静的立位でのマーカー設定の確認を行った。その後、最大挙上距離、足元の視界の計測、FRTを行った。その後、床反力計の中央に障害物を設置し、障害物から3m離れた地点に静止立位で待機し、その状態を開始肢位とした。障害物は接触時を考慮し発泡スチロールを使用した。障害物のサイズは奥行き6cm、横幅40cmとし、高さは直線歩行動作から跨ぎ動作へ運動学的な変化が生じるとされる高さ⁷⁾を参考に10cmとした。研究対象者には研究者の「歩いて下さい」を合図に歩行開始すること、障害物を跨いだあとと止まらずに3m以上先の歩行路を速度は変えずに歩きぬけることを説明した (図3)。また、左右の跨ぐ足・歩行速度は指定せず、自然に歩くように指示した。研究者の口頭による歩行開始の合図とともに機器の計測を開始した。歩行路での練習は2回、計測は3回実施した。

非装着時での全ての計測終了後、ジャケットを装着させた。装着感に慣れるため、10分間の自由行動を設けた。その後、最大挙上距離・足元の視界、FRT、障害物の跨ぎ動作を非着用時と同様の流れで計測を行った。

中止基準は①研究対象者が研究への参加を撤回した場合、②妊婦体験ジャケット着用により腰痛が出現し

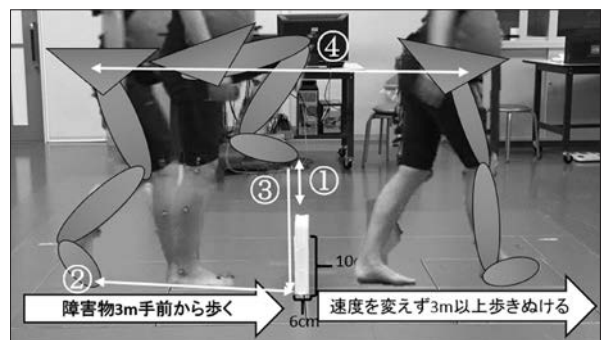


図3. 跨ぎ動作測定

障害物手前3mの地点からスタートし、合図で歩きだし跨ぎ動作を行った後速度を変えずに3m歩きぬける。自由速度で跨ぎ動作を行う足は指定していない。

- ①足部クリアランス：障害物の手前と通過する地点の母趾と障害物の距離
- ②踏切距離：障害物と足先離地地点の距離
- ③軌跡頂点：母趾の軌跡の最高地点の高さ
- ④重心移動距離：先行下肢の足先離地から踵接地までの範囲

た場合、③障害物跨ぎ動作中に転倒が出現した場合、④その他、研究者が中止する必要があると判断した場合とした。

計測結果より得られた数値をもとに、跨ぎ動作に関する項目は3回分の平均値を算出した。統計処理はR-2.8.1を用いて行った。まずShapiro-Wilk検定を行い、2変数とも $p \geq 0.05$ の場合は対応のあるt検定を、少なくとも1変数が $p < 0.05$ の場合はWilcoxonの検定を行った。有意水準は5%とし、非装着時と装着時を比較した。

本研究は兵庫医療大学倫理審査委員会（承認番号第15028）の承認を得て実施した。

Ⅲ 結果

研究対象者の基本情報は、平均年齢 20.8 ± 0.2 歳、身長 159.4 ± 1.1 cm、体重 53.4 ± 1.7 kg、BMI 20.8 ± 0.5 cm、転子果長 84.5 ± 2.1 cmであった。

装着による変化の比較を表にまとめた（表1）。足部クリアランスは非装着時が 172.9 ± 36.0 mm、装着時が 135.4 ± 22.1 mmであり、有意に低下していた（ $p < 0.01$ ）。軌跡頂点の変化においては非装着時が 268.7 ± 26.1 mm、装着時が 274.0 ± 49.2 mmと有意な変化を認めなかった（ $p=0.89$ ）。踏切距離は非装着時が 652.8 ± 76.6 mm、装着時が 758.5 ± 85.1 mmであり、装着時で有意に延長していた（ $p < 0.01$ ）。重心移動距離は非

表1. 非装着・装着による変化の比較

項目	非装着	装着	p値
足部クリアランス(mm)	172.9±36.0	135.4±22.1	<0.01
軌跡頂点(mm)	268.7±26.1	274.0±49.2	0.89
踏切距離(mm)	652.8±76.6	758.5±85.1	<0.01
重心移動距離(mm)	1340.3±98.9	1517.7±71.8	<0.01
股関節屈曲角(°)	56.7±4.8	56.5±6.3	0.91
足関節背屈角(°)	3.2±6.1	8.6±3.9	<0.01
最大挙上距離(cm)	662.1±63.9	569.5±112.2	<0.01
視界の制限(cm)	3.4±2.1	235.5±39.0	<0.01
FRT(cm)	36.0±4.4	31.5±3.8	<0.01

平均±標準偏差

足部クリアランス・軌跡頂点・踏切距離はWilcoxonの検定、重心移動距離は対応のあるt検定を実施。股関節屈曲角度は対応のあるt検定、足関節背屈角度はWilcoxonの検定を実施。最大挙上距離とFRTは対応のあるt検定、視界の制限はWilcoxonの検定を実施。足部クリアランス・踏切距離・重心移動距離・足関節背屈角度・最大挙上距離・視界の制限・FRTは装着にて有意に変化を認めた。

装着時が 1340.3 ± 98.9 mm、装着時が 1517.7 ± 71.8 mmと有意に増加を認めた（ $p < 0.01$ ）。股関節屈曲角度は非装着時が $56.7 \pm 4.8^\circ$ 、装着時が $56.5 \pm 6.3^\circ$ と有意な変化を認めなかった（ $p = 0.91$ ）。足関節背屈は非装着時が $3.2 \pm 6.1^\circ$ 、装着時が $8.6 \pm 3.9^\circ$ と有意な背屈角の増加を認めた（ $p < 0.01$ ）。最大挙上距離は非装着時が 662.1 ± 63.9 mm、装着時が 569.5 ± 112.2 mmと装着時で有意な減少を認めた（ $p < 0.01$ ）。そして、足元の視界は非装着時が 3.4 ± 2.1 mm、装着時が 235.5 ± 39.0 mmであり、有意に装着時で視界が狭くなった（ $p < 0.01$ ）。FRTは非装着時が 36.0 ± 4.4 cm、非装着時が 31.5 ± 3.8 cmと有意に減少を認めた（ $p < 0.01$ ）。

軌跡の差を示す例示を図4に示す。軌跡頂点が非装着条件では障害物の直上の位置にあるのに対し、装着条件では障害物の手前となっていた。

Ⅳ 考察

本研究において、妊婦体験ジャケット装着時の跨ぎ動作において足部クリアランスが低下し、重心移動距離が増加することがわかった。そのため、跨ぎ動作は躓きやふらつきに関与していると考えられる。

まず、躓きに関連する項目について述べていく。結果より装着時に足部クリアランスの低下、踏切距離の延長、足関節背屈角度の増加を認めている。しかし、軌跡頂点や股関節屈曲角度に有意な変化は認めなかった。最大挙上距離は装着にて減少を認めているが、軌跡頂点と比較すると跨ぎ動作に必要な高さは挙上可能であると考えられる。そのため、10cmの障害物を跨ぐことに対し、腹部膨満による物理的な制限を受ける

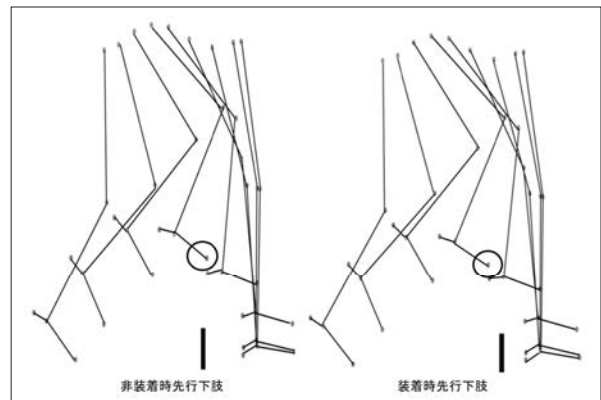


図4. 跨ぎ動作の軌跡一例（スティックピクチャ）

黒の長方形は障害物を、黒丸は母趾の軌跡頂点を示す。装着時は非装着時と比較して踏切距離が延長し、障害物の手前で軌跡頂点を迎えている。そして、母趾と障害物の距離は短縮している。

可能性は低いと考えられる。しかし、結果からも足部クリアランスの低下は生じているため、装着にて障害物との接触リスクは増加している。また、踏切距離の延長により、装着条件では下降軌跡となるタイミングで障害物上を通過することとなり、結果的に足部クリアランスが低下したと考えられる。図4の比較からも非装着時は通過時点で障害物の上で軌跡頂点を迎えるが、装着時は障害物より手前で軌跡頂点を迎えていることが分かる。その際、足関節背屈角度を代償的に増加させたため、障害物と接触するまでは至らなかったと思われる。踏切距離が延長した原因としては、視覚情報の影響が強いと考えられる。跨ぎ動作を行う上で、下肢の運動軌跡を計画するためにも視覚の情報は重要であり⁸⁾、視覚情報の的確な認識によって、安全に障害物を回避できるとされている⁹⁾。また、障害物跨ぎ動作において視覚情報は、障害物手前で瞬時に視覚情報を獲得して動作を修正するフィードバック情報よりも、動作を予測的に調整するフィードフォワード情報としての役割を担っていると考えられている⁶⁾。本研究においては、装着により足元の視界が制限されたことで、障害物の位置を誤認した可能性が考えられる。障害物跨ぎ動作と視覚に関する先行研究において、障害物直前と1歩手前で照明を消した条件では、1歩手前で照明を消した条件で動作の変化を認めている⁶⁾。本研究においてはジャケット装着により足元の視界が制限されたために、非装着時と比較して足元で把握可能な距離に変化が生じている。把握可能な距離が変化したことで障害物との接触を避けるためにより遠い位置で踏切を行う過剰な対応をとったか、腹壁突出により足元の視界が変化していることの認識が不十分で障害物との距離を誤って処理したと思われる。そのため、障害物との距離間に誤差が生じ、障害物からより遠い位置で踏切を行った可能性が考えられる。しかし、視界の制限に関しては本研究の評価では不足しており、評価方法を含め今後の検討課題と考えている。

次にバランス機能に関して考察を述べる。装着条件ではFRTにおいて有意にバランス機能の低下を示しており、ジャケット装着はバランス機能に影響していると考えられる。妊娠経過とFRTを比較した研究においても、妊娠後期につれFRTは減少しており、妊娠後期は約28cmであった¹⁰⁾。本研究では装着条件では約31cmと実際の妊娠後期の妊婦と比較するとバランス機能は良好だが、妊娠中期の結果が約31cmであることから、妊娠中期の妊婦と同様のバランス機能となると考えられる。阿江らは跨ぎ動作は立位姿勢を変

化させるため、変化させた姿勢を戻す過程にバランス機能が必要であると報告しており¹¹⁾、障害物との接触後のバランス機能の報告からも足関節周囲筋の活動が重要である¹²⁾。妊婦は腹壁突出により体幹後傾位をとることから、股関節をバランス制御に利用しにくいいため足関節筋力に頼ったバランス制御を行うとされている¹⁰⁾。本研究では対象の平均年齢も若く、バランス機能が良好であったと考えられる。そのため、妊娠後期を想定したジャケットを使用しても妊娠中期程度のバランス機能となった。しかし、このように元々のバランス機能がよく、妊娠中期程度のバランス機能でも跨ぎ動作に関しては有意な重心移動の増加を認めた。今回、ジャケットを用い仮想妊婦として研究を実施しているため、妊娠経過に伴う身体の変化に関する影響は推測の域を脱せず、本研究の限界点であると考えられる。また、実際の妊娠後期の妊婦では易疲労性も生じており¹³⁾、同年齢の妊婦であっても跨ぎ動作がよりふらつきに繋がる可能性があると考えられる。障害物との接触を回避するために、足関節背屈を代償的に増加させた可能性を先述したが、足関節周囲の易疲労性を考慮すると実際の妊婦では足関節背屈動作による代償手段をとることが出来ず躓く可能性も高くなると考えられる。これらのことより、跨ぎ動作に必要な下肢挙上は可能でも、軌跡の下降中の姿勢制御や躓き後の対応は不十分となる可能性が示唆された。

以上の考察から本研究の限界として3つ挙げたい。まず、実際の妊婦ではなく、妊婦体験ジャケットを用いて妊婦モデルを設定したため、妊娠経過に伴うホルモンバランスやマイナートラブルなどの身体的変化¹³⁾や運動学習の面が推測の域を越えないことである。また、ジャケット装着時の状態に慣れるための一定の時間を設けていたが、その時間内では不十分であった可能性がある。今後は転倒に注意しながら妊婦を被験者とした検討を行う必要がある。次に跨ぎ動作に着目したため、跨ぎ動作に移行するとされる高さを参考としたことである。今後は日常生活面を設定しドアの敷居などを想定したより低い段での検証も行っていく必要があると考えられる。最後に視界の評価を障害物跨ぎ動作を想定した独自設定のものとしたことである。他の動作などへの応用を検討していく上でも、評価方法も改良していく必要がある。

本研究では、ジャケット装着時の跨ぎ動作と視界の関係を検証することで、妊婦の転倒予防に繋がる知見が得られた。その中で、ジャケット装着による足元の視界の制限が踏切距離に影響し足部クリアランスの低

下に繋がること明らかになった。また、重心移動距離の増加からも、跨ぎ動作にはバランス機能の要求量が妊娠時には増加すると考えられる。視界の制限との関連は今後も検討が必要ではあるが、これらは、急なジャケット着用による身体的変化の結果だけでなく、妊娠経過の身体の変化に伴う運動学習が生じている妊婦でも生じる現象であると考えられる。障害物回避のために、足元の視界の制限は障害物の見落としや、障害物との距離をより遠方に誤認しやすいことは妊婦の転倒予防のためにも重要な観点であると考えられる。以上のことから、転倒予防のために障害物の位置に手すりなどを設置し目印としたり、跨ぎ動作時には手すりや壁などの支持物が必要であると考えられる。今後は妊婦を被験者とした検証も行っていく必要があると思われる。

V 謝辞

本研究に関し、ご協力頂いた参加者の方には深く感謝申し上げます。

文献

- 1) 武田要, 井村真澄. 妊婦の転倒実態調査. 母性衛生. 2016, 56(4), 591-597.
- 2) 福岡由理. 産前・産後のかかわりと臨床的評価基準. 理学療法ジャーナル. 2013, 47(10), 895-901.
- 3) Ahmet I, Calmat B, et al. Evaluation of postural equilibrium and fall risk during pregnancy, *Gait Posture*. 2014, 39, 1122-1125.
- 4) 武田要, 勝平純司 他. 妊娠末期における歩行時の身体負荷量分析. 理学療法科学, 2008, 23(5), 573-577.
- 5) 水野千奈津, 山本栄. 妊婦の歩行時における安定性に関する研究. 母性衛生. 2009, 49(4), 549-555.
- 6) 青山智編: 身体運動学 知覚・認知からのメッセージ, 日本, 株式会社 三輪書店, 2008, pp.99-104, ISBN978-4-89590-319-6.
- 7) 松澤恵美, 南風原英之 他. 高さの異なるまたぎ越え動作の運動分析に関する研究. 臨床バイオメカニクス. 2011, 32, 477-482.
- 8) Palta AE, Adkin A, et al. Characteristics of voluntary visual sampling of the environment for safe locomotion over different terrains. *Exp Brain Res*. 1996, 112(3), 513-522.
- 9) Mohagheghi AA, Moraes R, et al. The effects of distant and on-line visual information on the control of approach phase and step over an obstacle during locomotion. *Exp Brain Res*. 2004, 155(4), 459-468.
- 10) Takeda K, Shimizu K, Imura M. Changes in balance strategy in the third trimester. *Changes in balance strategy in the third trimester. J Phys Ther Sci*. 2015, 27(6), 1813-1817.
- 11) 阿江通良, 岡田英孝, 尾崎哲郎 他. 高齢者の歩行中のまたぎ越え動作に関するkinematics的研究. バイオメカニクス学会誌. 1999, 23(2), 112-120.
- 12) Shchillings AM, Van Wezel BM, Mulder T, et al. Muscular responses and movement strategies during stumbling over obstacles. *J Neurophysiol*. 2000, 2093-2102.
- 13) 新川治子, 島田美恵子, 早瀬麻子 他. 現代の妊婦のマイナートラブルの種類, 発症率及び発症頻度に関する実態調査. 日本助産学会誌. 2009, 23(1), 48-58.