

妊娠中の立位姿勢の維持と体性感覚

永井正則

健康科学大学 健康科学部 リハビリテーション学科

Increased reliance on somatosensory inputs in controlling standing posture during pregnancy

NAGAI Masanori

抄 録

妊娠の進行に伴い妊婦の身体の重量バランスは変化する。このような変化は、立位姿勢の不安定化を招き、妊婦の転倒の原因ともなっている。妊婦における姿勢の不安定化は、立位時の前後方向の重心動揺距離の増加となって現れる。妊娠期間中の身体要素と前後軸の重心動揺について相関分析した研究では、腹囲と前後軸の重心動揺距離との間に正の相関が確認されている。重心動揺の周波数帯パワーを高速フーリエ変換により比較した結果、妊婦における1.0-10.0Hzの周波数帯パワーが非妊娠群より小さいことが示されている。1.0-10.0Hzの周波数帯の重心動揺は、体性感覚によって安定化されることが報告されている。したがって、妊婦では妊娠中の腹囲の増加による身体の重量バランスの変化に対し、体性感覚への依存度を高めることで立位姿勢が維持されていることが推測される。非妊娠女性に妊娠体験ジャケットを着用させると、妊娠中と同様に立位時の前後軸の重心動揺距離が増加する。しかし、この時1.0-10.0Hzの周波数帯パワーは妊婦とは逆に大きくなっている。妊娠体験ジャケットの着用は、体性感覚に急性の負荷となっていることがわかる。妊婦では妊娠の進行に伴う重量バランスの継続的な変動に、体性感覚への依存度を高めることで適応していると考えられる。

妊婦の姿勢の不安定化と転倒

胎児の発達とともに妊婦の身体の重量バランスは変化する。腰椎と腹筋への負荷が増加することで¹⁾、頭部が斜め後方に変位し腰椎の前湾と骨盤の前傾が増加する²⁾。このような身体バランスの変化は、妊婦の立位姿勢を不安定化する要因となる³⁾。立位姿勢の不安定化は転倒につながる。米国における調査では、職業を持つ妊婦の25%が就業中に転倒を経験するという結果が得られている⁴⁾。職業の有無に関わらず、妊婦一般でも13%⁵⁾という転倒率が報告されている。研究のための被

験者として募集した妊婦への聴取りを行ったところ、応募してきた妊婦の42%が転倒を経験していたという報告もある⁶⁾。妊娠中の転倒は母体と胎児の双方に、さまざまな傷害をもたらす可能性があり、妊婦の転倒予防への取組の必要性が強調されている⁷⁾。

妊婦における立位時の重心動揺の特性

妊婦の立位姿勢の不安定化を重心動揺から解析した研究では、第2、第3の3ヶ月期（trimester）で立位時の重心動揺距離が大きくなることが報告

されている⁸⁾。われわれは、平均妊娠週齢30.3の妊娠群と年齢マッチングさせた非妊娠群とを比較することで、妊娠群において立位時の重心動揺面積と前後軸の重心動揺距離が非妊娠群より大きくなっていることを示した⁹⁾。妊娠群では、前後軸の重心動揺距離の増加が重心動揺面積の増加を引き起こしたと結論される (図1, 図2右)。

妊娠中に前後方向の重心動揺が大きくなるというわれわれの知見は、他の報告とも概ね一致する。Karadag-Saygi et al.¹⁰⁾は、われわれと同様に妊娠後期に前後軸の重心動揺が増加すること報告している。前後軸の重心動揺距離が妊娠後期と比べ出産後には減少すること⁵⁾や閉眼時の前後軸の重心動揺が妊娠中に大きくなるとことも報告されている¹¹⁾。前後軸の重心動揺速度についても、妊娠後期に増加することも示されている¹²⁾。

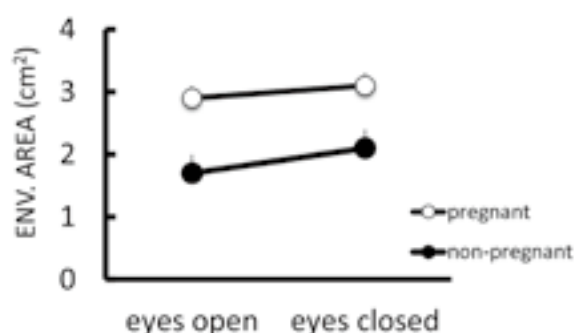


図1 妊婦の立位時の重心動揺面積
非妊娠群に比べ重心動揺距離 (ENV. AREA) が大きくなる。開眼時 (eyes open), 閉眼時 (eyes closed) ともに妊娠群と非妊娠群の間に有意差あり。
文献9) に基づいて作成

左右軸の重心動揺について、われわれの実験結果では、開眼条件下の妊娠群と非妊娠群との間に差はなく、閉眼条件では非妊娠群で動揺距離の増加が大きかった (図2)。しかし、妊娠中の左右軸の重心動揺については、研究者によって異なる結果が報告されている。左右軸の重心動揺が妊娠によって変化することはない¹¹⁾、左右方向の重心動揺は妊娠期間中には変わらずに出産後に増加する⁵⁾などの報告がある。また、妊娠中に左右軸の重心動揺距離が増加するという報告もある¹³⁾。妊婦中には、足底部の中央から外側にかけて負荷される圧が増加する¹⁴⁾。この負荷圧の増加に対応して立位時の妊婦は足幅を広く取り、足幅の広さは左右方向の重心動揺に影響する¹⁵⁾。立位時の妊婦の重心動揺を測定する際の足幅については、それぞれの報告で記載はされていないが、研究者間で同一の基準で行われているわけではない。立位時の左右軸の重心動揺距離について報告された結果が一致していないのは、このためと思われる。さらに、重心動揺を開眼条件で測定する際、被験者の前方に提示する視標の視覚的特性も動揺パラメーターに影響を与える。例えば、視標が中心視野のみに投射するか、周辺視野にも投射するか、視標と地のコントラストなどの視覚的特性などが、左右軸と前後軸の重心動揺に異なる影響を及ぼすことが報告されている^{16),17),18)}。われわれの研究における視標の提示条件は、先に明示している通りであるが¹⁹⁾、重心動揺を指標とした論文には

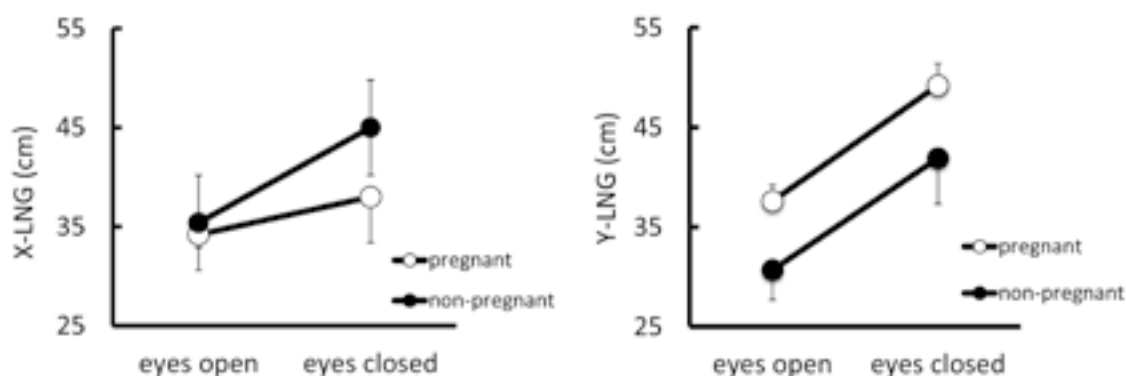


図2 妊婦の立位時の重心動揺距離
非妊娠群に比べ前後軸の重心動揺距離が開眼時 (eyes open), 閉眼時 (eyes closed) ともに有意に大きい。左右軸の重心動揺距離には妊娠群と非妊娠群で有意差は認められない。
文献9) に基づいて作成

視標の提示条件が記載されていないものもある。視標の提示条件を明確にした上で、妊婦における姿勢維持機能に関する研究結果を再度精査する必要があると考える。

妊娠中の前後軸の重心動揺と身体要因

妊娠後期で立位時の前後軸の重心動揺距離が増加することで、姿勢が不安定化することがわかった。そこで、妊婦において前後軸の重心動揺と相関する身体要因を検索した。同一被験者で、妊娠38週齢と出産後1ヶ月での立位時の前後軸の重心動揺距離と体重とBMI（Body Mass Index）、腹囲との間で相関分析を行った。その結果、腹囲と前後軸の重心動揺距離との間に正の相関を見出した²⁰⁾（図3）。体重とBMIは前後軸の重心動揺とは有意な相関を示さなかった。左右軸の重心動揺距離は、体重、BMI、腹囲のいずれとも相関を示さなかった。

われわれの実験では、体重とBMIは妊婦の重心動揺と相関を示すことはなかった。他の研究においても、妊娠後期に直立時の重心動揺距離が大きくなるものの、動揺距離と体重との相関は認められていない¹⁰⁾。

妊娠していない一般の被験者では体重と重心動揺との関連について、BMIが40以下の場合には体重と前後軸の重心動揺が負の相関をする²¹⁾ことが報告されている。BMIが41以上の肥満女性と普通体型のBMIを示す女性との比較では、前後軸の重心動揺に差が見られるとともに、体重と前後軸の重心動揺との間に相関が観察されている²²⁾。

妊娠中の腹囲に関しては、新生児体重との関連²³⁾や母乳の授乳期間との関連²⁴⁾などが報告されている。しかし、妊娠中の腹囲と重心動揺との関連に注目した報告はこれまでに見出すことができなかった。

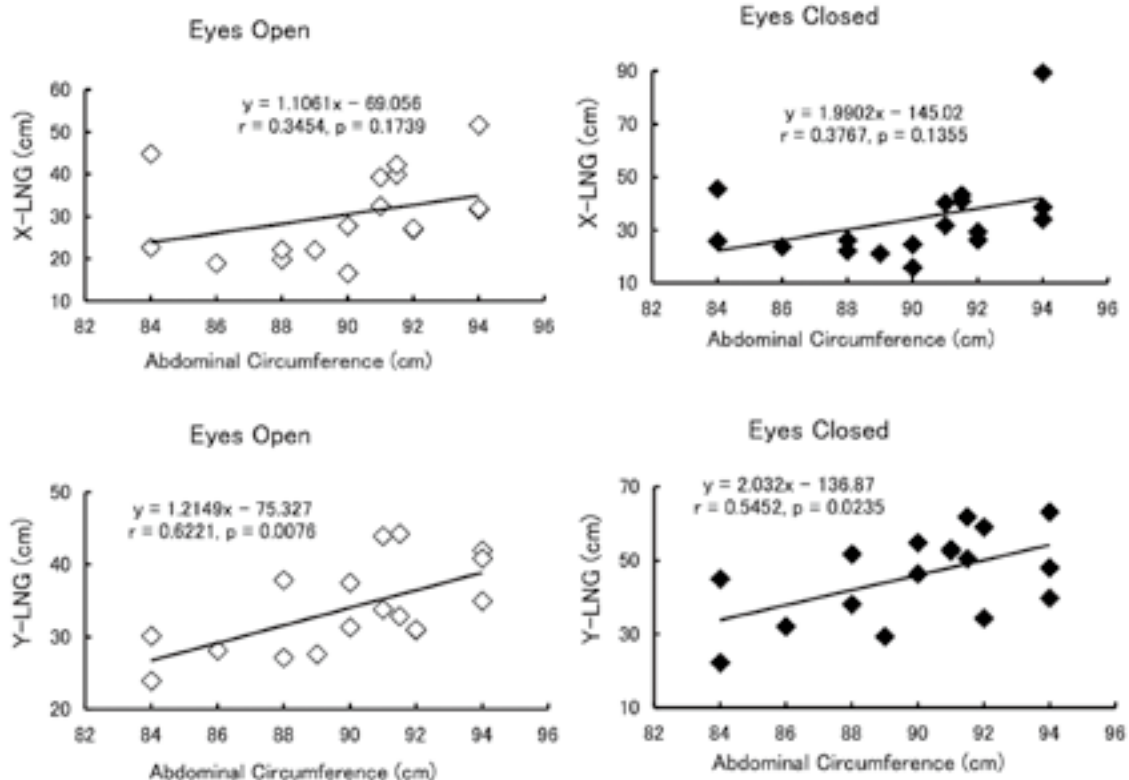


図3 妊婦における腹囲と前後軸の重心動揺との相関

前後軸の重心動揺距離（Y-LNG）と腹囲（abdominal circumference）との間に正の相関が見られる（下段）。相関は開眼時（eyes open）でも閉眼時（eyes closed）でも見られる。左右方向の重心動揺距離は腹囲との間には有意な相関は認められない（上段）。

文献20)に基づいて作成

妊婦の重心動揺と感覚入力

立位姿勢の安定性に関わる感覚入力は視覚と平衡感覚、体性感覚の3つである。これらモダリティーの異なる3つの感覚は重心動揺を小さくすることで姿勢を安定化に寄与しているが、それぞれの感覚が安定化作用を及ぼす動揺周波数に違いがある²⁵⁾(図4)。視覚はすべての動揺周波数帯に安定化作用を及ぼすが、特に0.1Hz以下の周波数帯の重心動揺に対して強い安定化作用を示す。体性感覚は0.1Hz以上の周波数帯の動揺に対して安定化作用をもつが、特に1Hz以上の周波数帯の動揺を安定化する作用が強い。平衡感覚では耳石器官からの入力が0.1Hz以下の動揺周波数帯に対し強い安定化作用を示す。パーキンソン病の患者では、感覚入力の切り替えに対応した姿勢制御ができないことから、姿勢維持に関わるこれら3つの感覚への依存度(感覚への重み付け, reweighing)は脳基底核で行われていると考えられている²⁶⁾。

これらのことを踏まえて、われわれは、立位時の前後軸の重心動揺周波数帯のパワーを高速フーリエ変換により解析した。妊娠群と非妊娠群および同一被験者の出産前と出産後を比較すると、いずれの場合でも1.0-10.0Hzの周波数帯パワーが妊娠中に小さくなっていることがわかった(図6右)。1.0-10.0Hzの周波数帯の動揺は体性感覚によって安定化されることから、妊娠中は体性感覚

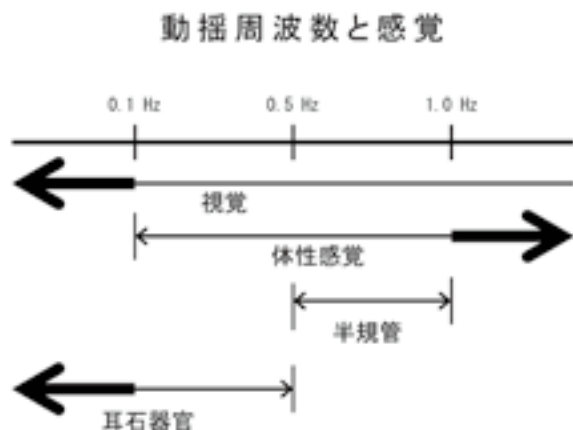


図4 立位時の重心動揺周波数と感覚
視覚、体性感覚、平衡感覚(耳石器官、半規管)が安定化する周波数帯を示す。
文献25)に基づいて作成

への依存度が高まっていることが示された。体性感覚への依存度の高まりは、妊娠中の身体の重量バランスの持続的な変化へ適応的に反応したためであると推測される。

妊娠体験ジャケットによる急性負荷の影響

妊娠の進行に伴って体性感覚への依存度が適応的に高まっていくことを確かめる目的で、妊娠体験ジャケットを用いて女子大学生に急性の重量負荷を与えた時の重心動揺を測定する実験を行った。妊娠ジャケットの着用により女子大学生の姿勢や歩行バランスが低下することが確認されている²⁷⁾。妊娠体験ジャケットによる重量付加は妊娠後期を想定して7.2kgとしたその結果、妊娠後期の重量負荷により立位時の前後軸の重心動揺が大きくなった(図5)。これは、妊娠後期の妊婦と非妊娠群とを比較した知見⁹⁾(図2右)と同一被験者で出産前後を比較した実験結果²⁰⁾と一致していた。しかし、前後軸の重心動揺の周波数を高速フーリエ変換により解析した結果、妊婦では体性感覚によって安定化される1.0-10.0Hzの周波数帯パワーが低下しているのに対し、女子大学生への急性の重量付加では逆に増加していることがわ

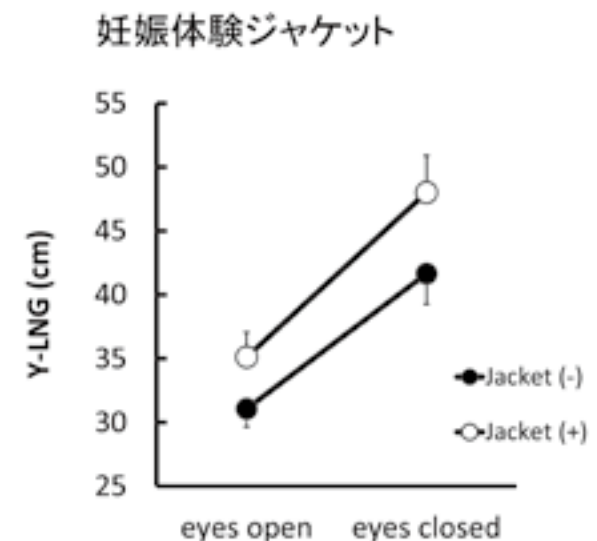


図5 妊娠体験ジャケット着用時の前後軸の重心動揺距離

妊娠体験ジャケット着用時に前後軸の重心動揺距離(Y-LNG)が大きくなる。開眼時(eyes open)でも閉眼時(eyes closed)でもジャケット着用の有無で有意差が認められる。

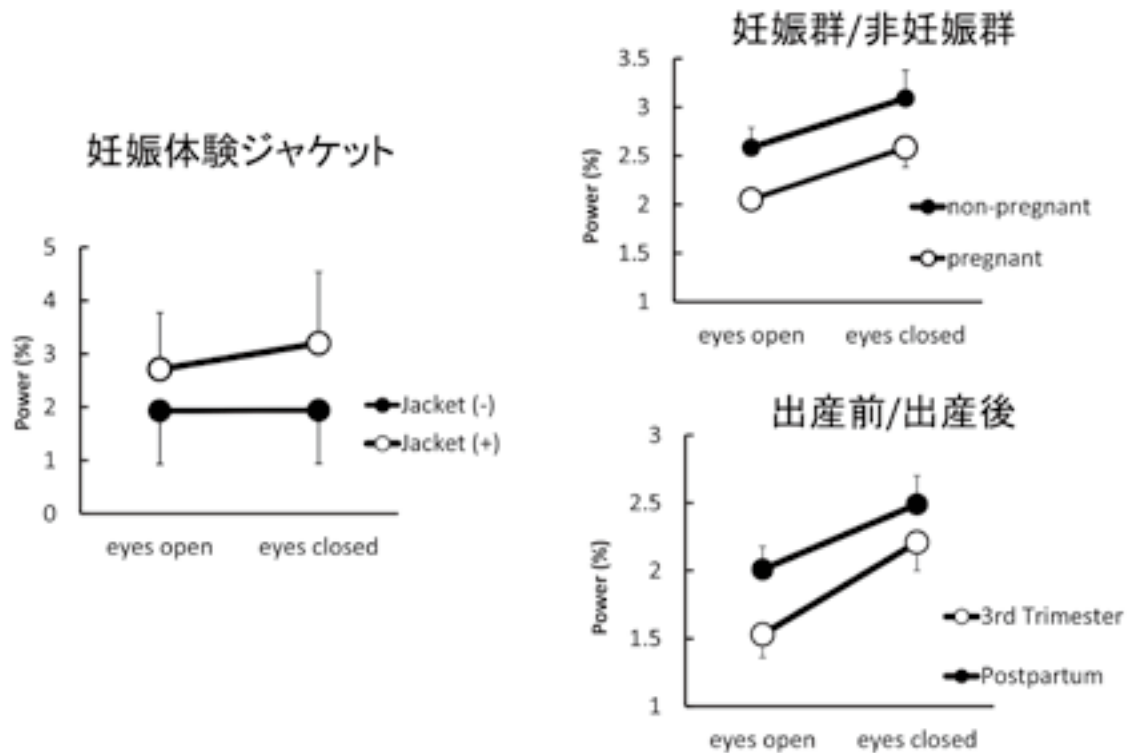


図6 前後方向の重心動揺の1.0-10.0Hz 周波数帯のパワー比の比較

妊娠ジャケット着用の有無での比較（左）：ジャケット着用群で0.1-10.0Hz 周波数帯のパワー比が大きい。
 妊娠群と非妊娠群との比較（右上）：妊娠群で0.1-10.0Hz 周波数帯のパワー比が有意に小さい。
 出産前と出産後の比較（右下）：出産前（third trimester）で0.1-10.0Hz 周波数帯のパワー比が有意に小さい。
 文献9）、20）に基づいて作成

かった（図6左）。このことは、急性の重量バランスの変化は体性感覚へ外乱を与えることとなり、その結果、立位姿勢を不安定化することがわかった。妊婦においては身体の重量バランスの変化が経時的に持続して起こり、それに対して体性感覚が適応的に応答することによって、姿勢の安定化に寄与する体性感覚への依存度が増加し、その結果1.0-10.0Hzの動揺周波帯パワーが小さくなっていると結論できる。

妊娠中の姿勢安定化へのひとつの提言

本稿で紹介してきた立位時の重心動揺を指標とする研究では、妊娠後期に重心動揺が大きくなり姿勢が不安定化することが示されている。姿勢バランスの動的測定においても同様に、妊娠後期に姿勢バランスの維持機能が低下し、転倒リスクが増大することが報告されている²⁸⁾。

われわれの研究によれば、妊娠中の立位姿勢の不安定化は、前後軸の重心動揺距離が増加するこ

とによる重心動揺面積の増大として捉えることができる^{9),20)}。立位時の前後軸の重心動揺距離を増やす要因のひとつは不安である。このことは、一般の大学生においても²⁹⁾ 妊婦においても⁹⁾ 確かめられている。立位時の前後軸の重心動揺距離を増やすもうひとつの要因は、妊娠中の腹囲である²⁰⁾ (図3)。これらの知見から、妊婦の転倒を防ぐ方策を提案したい。

妊娠後期には、立位時の前後軸の重心動揺距離と腹囲との間に正の相関が見られることから、地域単位で妊婦の腹囲と前後軸の重心動揺距離との標準直線を開眼時と閉眼時で導くことができる（図7、8）。個々の妊婦の腹囲と前後軸の重心動揺距離がこの標準直線はずれて大きい場合は、立位姿勢が不安定で転倒の危険性が大きいことが予見できる。前後軸の重心動揺距離を増加させる不安の効果は、閉眼することで消失する^{9),29)}。したがって、開眼時の標準直線はずれて大きい値を示している場合でも、閉眼時に標準直線の範囲

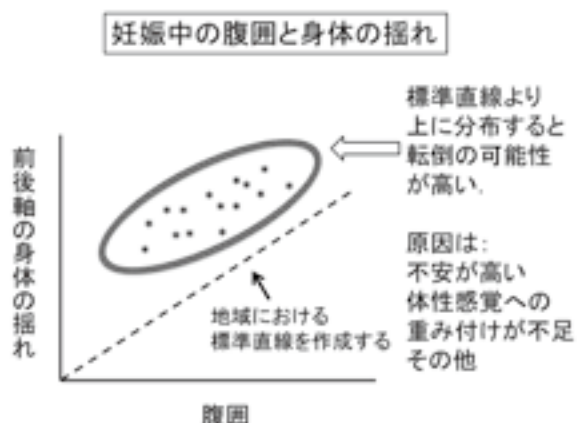


図7 妊娠中の立位時における前後軸の重心動揺と腹囲に関する標準直線の作成

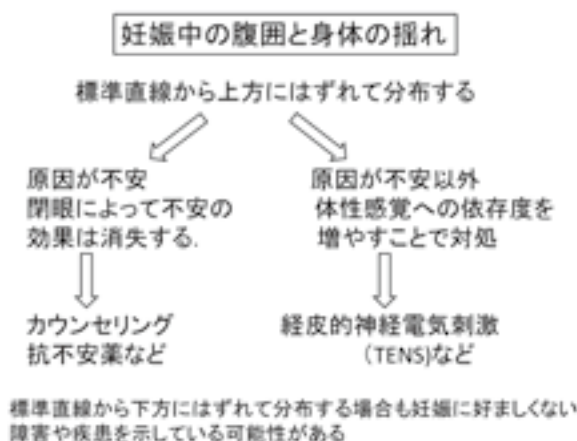


図8 前後軸の重心動揺と腹囲の標準直線からのはずれ値への対応

であれば、開眼時の重心動揺が標準より大きくなっている原因が不安であることがわかる。原因が不安でない場合は、本稿で考察したように姿勢維持のために動員する体性感覚への依存度の適応的な変更が十分でないと考えられる。Dickstein et al.³⁰⁾は、脚部の背側皮膚に TENS (transcutaneous electric nerve stimulation) を実施することで直立時の重心動揺が小さくなることを報告している。体性感覚を刺激することで、体性感覚への依存度が大きくなり立位姿勢の安定化に繋がる可能性がある。このように、前後軸の重心動揺距離が標準値をはずれて大きくなる原因が、不安の亢進のためなのか、体性感覚への依存度を高めることで重量バランスの変化に適応する過程が不十分なのかを判定できる。このプロトコルを用いて、妊娠中の転倒を予防できるのではないかと考えてい

る。

文献

- 1) Ireland ML, Ott SM. The effects of pregnancy on the musculoskeletal system. Clin Orthop. 2000; 372: 169-179. doi:10.1087/00003086-20003000-00019
- 2) Franklin ME, Conner-Kerr T. An analysis of posture and back pain in the first and third trimesters of pregnancy. J Orthop Sports Phys Ther. 1998; 28: 133-138. doi:10.2519/jospt.1998.28.3.133
- 3) Conder R, Zamani R, Akrami M. The biomechanics of pregnancy: a systemic review. J Func Morphol Kinesiol. 2019; 4: 72. doi:10.3390/jfunk4040072
- 4) Dunning K, LeMasters G, Levin A, Blattacharya A. et al. Falls in workers during pregnancy. J Orthop Sports Phys Ther. 1998; 28: 133-138.
- 5) Jang J, Hsiao KT, Hsiao-Weckslar ET. Balance (perceived and actual) and preferred stance width during pregnancy. Clin Biomech (Bristol Avon). 2008; 23: 468-476. doi:10.1016/j.chilbiomech.2007.11.011
- 6) McCrory JL, Chambers AJ, Daftary A, Redfern HS. Dynamic postural stability in pregnant fallers and non-fallers. BJOG 2010; 117: 954-962. doi:10.1111/j.1471-0528.2010.12589.x.
- 7) Cakmak B, Ribeiro AP, Inanir A. Postural balance and the risk of falling during pregnancy. J Matern Fetal Neonat Med. 2016; 29: 1623-1625. doi:10.3109/14767058.2015.1057490
- 8) Butler EE, Colon I, Druzin ML, Rose J. Postural equilibrium during pregnancy: Decreased stability with an increased reliance on visual cues. Am J Obstet Gynecol. 2006; 195: 1104-1108. doi:10.1016/j.ajog.2006.015
- 9) Nagai M, Ishida M, Saitoh J, Hirata Y, et al. Characteristics of the control of standing posture during pregnancy. Neurosci Lett. 2009; 462: 130-134. doi:10.1016/j.neulet.2009.06.091
- 10) Karadag-Saygi E, Unlu-Ozkan F, Basgul A. Planter pressure and foot pain in the last trimester of pregnancy. Foot Ankle Int. 2010; 31: 153-157. doi:10.3113/FAI.2010.0153
- 11) Opala-Berdzik A, Błaszczyk J, Bacik B, Cieślińska-Swider J, et al. Static postural stability in woman during and after pregnancy: A prospective longitudinal study. PLoS One 10; e0124207. doi:10.1371/journal.pone.0124207
- 12) Ramachandra P, Kumar P, Bo K, Maiya GA. Comparison of static postural sway characteristics between pregnant and non-pregnant women. J Biomech. 2003; 54: 111618. doi:10.1016/j.biomech.2023.111618
- 13) Oliveira LF, Vieira TMM, Macedo AR, Simpson DM, et al. Postural sway changes during pregnancy: A descriptive study using stabilometry. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol. 2009; 147: 25-28. doi:10.1016/j.ejogrb.2009.06.027
- 14) Nyska M, Sofer D, Poret A, Howard CB, et al. Planter foot pressure in pregnant women. Isr J Med Sci. 1997; 33: 139-

- 146.
- 15) Day BL, Steiger MJ, Thompson CR, Marsden CD. Effect of vision and stance width on human body motion when standing: Implications for afferent control of lateral sway. *J Physiol.* 1993; 469: 479-499. doi:10.1113/jphysiol.1993.sp019824
- 16) Paulus WM, Straube A, Bradt Th. Visual stabilization of posture. Physiological stimulus characteristics and clinical aspects. *Brain.* 1984; 107: 1143-1163. doi:10.1093/brain/107.4.1143
- 17) Berencsi A, Ishihara M, Imanaka K. The functional role of central and peripheral vision in the control of posture. *Hum Mov Sci.* 2005; 24: 689-709. doi:10.106/j.humov.2005.10.014
- 18) Lê TT, Kapoula Z. Role of ocular convergence in Romberg quotient. *Gait Posture.* 2008; 27: 493-500. doi:10.1016/j.gaitpost.2007.06.003
- 19) Wada H, Sunaga N, Nagai M. Anxiety affects the postural sway of the antero-posterior axis in college students. *Neurosci Lett.* 2001; 302: 157-159. doi:10.1016/s0304-3940(01)01662-7
- 20) Nagai M, Ishida M, Saitoh J, Hirata Y, et al. Abdominal circumference correlates with postural sway of the antero-posterior axis in pregnant women. *Mathews J Gynecol Obstet.* 2016; 1: 004.
- 21) Błaszczyk JW, Cieślanka-Swider J, Plewa M, Zohorska-Marikiewicz B. Effects of excessive body weight on postural control. *J Biomech.* 42; 2009: 1295-1300. doi:10.1016/j.biomech.2009.03.006
- 22) Menegoni F, Galli M, Tacchini E, Vismara L, et al. Gender-specific effect of obesity on balance. *Obesity (Silver Spring).* 2009; 17: 1951-1956. doi:10.1038/oby.2009.82
- 23) Mohanty C, Das BK, Mishra OP. Parturient abdominal circumference as a predictor of low birth weight. *J Trop Pediatr.* 2000; 46: 363-364. doi:10.1093/tropj/46.6.363
- 24) Snyder GG, Holzman C, Sun T, Bullen B, et al. Breastfeeding greater than 6 months is associated with smaller maternal waist circumference up to one decade after delivery. *J Women's Health.* 2019; 28: 462-472. doi:10.1089/jwj.2018.7393
- 25) Redfern MS, Yardley L, Bronstein AM. Visual influences on balance. *J Anxiety Disord.* 2001; 15: 81-94. doi:10.1016/s0887-6185(00)0043-8
- 26) Brown LA, Cooper SA, Dickin DC, Whishaw Q, et al. Parkinsonian deficits in sensory integration for postural control: temporal response to changes in visual input. *Parkinsonism Rel. Diord.* 2006; 12: 376-38. doi:10.1016/j.parkreldis.2006.03.004
- 27) Inoue-Hirakawa T, Ito A, Iguchi S, Watanabe H, et al. The effect of simulated gestational weight gain on balance, gait, and fear of falling. *Nagoya J Med Sci.* 2021; 83: 41-49. doi:10.18999/nagjms.83.1.41
- 28) Inanir A, Cakmak B, Hisim Y, Demirturk F. Evaluation of postural equilibrium and fall risk during pregnancy. *Gait Posture.* 2014; 39: 1122-1125. doi:10.1016/j.gaitpost.2014.01.03
- 29) Ohno H, Wada M, Saitoh J, Sunaga N, et al. The effect of anxiety on postural control in humans depends on visual information processing. *Neurosci Lett.* 2004; 364: 37-39. doi:10.1016/j.neulet.2004.04.014
- 30) Dickstein R, Laufer Y, Katz M. TENS to the posterior aspect of the legs decreases postural sway during stance. *Neurosci Lett.* 2006; 393: 51-55. doi:10.1016/j.neulet.2005.09.039