

หน่วยที่ 7 ชีวกลศาสตร์ในการทำงาน

ชีวกลศาสตร์เป็นสหวิทยาการที่เกิดจากการประยุกต์ใช้ความรู้ทางกลศาสตร์วิศวกรรมไปใช้ในการศึกษาและอธิบายกลไกการทำงานของร่างกาย โดยเน้นการวิเคราะห์เรื่องของการเคลื่อนไหวและแรงที่เกี่ยวข้องกับร่างกาย สำหรับชีวกลศาสตร์ในการทำงานจะเป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ทางชีวกลศาสตร์ไปในการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับความเสี่ยงจากการทำงานที่จะส่งผลกระทบต่อการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ รวมถึงการออกแบบให้มีประสิทธิภาพและสามารถป้องกันการเคลื่อนไหวและแรงจากร่างกายได้อย่างเหมาะสม

ชีวกลศาสตร์(biomechanics) หรือที่ผู้เขียนบางท่านอาจใช้คำว่ากลศาสตร์ชีวภาพ ซึ่งหมายถึงการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านฟิสิกส์(physics) และหลักการทางกลศาสตร์วิศวกรรมมาอธิบายการเคลื่อนไหวและการทำงานของอวัยวะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งรวมถึงการอธิบายเรื่องของแรงที่สร้างขึ้นจากอวัยวะเหล่านั้นหรือแรงมาจากภายนอกที่ส่งผลกระทบต่ออวัยวะต่างๆจากหนังสือของ Chaffin และ คณะ (2006) ได้กล่าวถึงประวัติการพัฒนาคำว่าชีวกลศาสตร์ซึ่งมีมานานตั้งแต่กลางคริสต์ศตวรรษที่14 โดยอ้างอิงจากผลงานที่รู้จักกันดีของLeonardo da Vinci(1452-1519) งานของดาร์วินซึ่งไม่เพียงแต่เป็นการศึกษาด้านรูปทรงของร่างกายมนุษย์แต่ยังได้อธิบายถึงหน้าที่ในการทำงานร่วมกันระหว่างกล้ามเนื้อ (muscle) และกระดูก (bone) ผลงานของดาร์วินซึ่งได้ถูกถ่ายทอดผ่านงานศิลปะของเขาแสดงให้เห็นโครงสร้างภายนอกของร่างกายมนุษย์ซึ่งนักกายศาสตร์คุ้นเคยกันดีจนกลายเป็นสัญลักษณ์ของงานด้านการกายศาสตร์

“การศึกษาปฏิสัมพันธ์ทางร่างกายของผู้ปฏิบัติงานกับเครื่องมือ เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆเพื่อส่งเสริมความสามารถในการทำงานเพื่อให้เกิดความเสี่ยงต่อปัญหาและการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและกระดูกน้อยที่สุด”

ดังนั้นงานด้านชีวกลศาสตร์ในการทำงานจึงเป็นหลักการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบการทำงานได้

บทบาทของชีวกลศาสตร์

- (1) ช่วยให้นักกายศาสตร์เข้าใจกลไกของแรงที่เกิดขึ้นทั้งภายนอกและภายในร่างกายได้เป็นอย่างดี
- (2) ช่วยให้นักกายศาสตร์สามารถคำนวณหรือประมาณค่าของแรงกระทำที่เกิดขึ้นภายในอวัยวะต่างๆของร่างกายโดยเฉพาะระบบกระดูกและกล้ามเนื้อทำให้สามารถวิเคราะห์หาความเสี่ยงที่อาจทำให้ร่างกายเกิดการบาดเจ็บได้
- (3) ช่วยให้นักกายศาสตร์สามารถใช้ในการสื่อสารกับวิศวกรในการวิเคราะห์หรือประเมินผลการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆว่าจะส่งผลกระทบต่อแรงกระทำที่เกิดขึ้นในร่างกายอย่างไรบ้างเมื่อใช้งานหรือทำงานร่วมกับอุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องจักรเหล่านั้น
- (4) ช่วยให้นักกายศาสตร์สามารถเข้าใจปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับอวัยวะต่างๆของร่างกายโดยเฉพาะระบบกล้ามเนื้อและกระดูก และเข้าใจกลไกของการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นจากแรงกระทำเหล่านั้น

การใช้แรงของร่างกายในการทำกิจกรรมหนึ่งๆ อาจนำไปสู่การบาดเจ็บหรือเจ็บปวดของร่างกายที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทางด้านระบบกล้ามเนื้อและกระดูก(musculoskeletal system) ซึ่งจะเกิดได้ 2 ลักษณะใหญ่ๆคือการบาดเจ็บแบบทันที(acute trauma) และการบาดเจ็บแบบสะสม(cumulative trauma)

ชีวกลศาสตร์ คือการประยุกต์ใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ และกลศาสตร์ โดยเฉพาะกฎของนิวตันในการวิเคราะห์คำนวณ ทำนายแรงที่จะกระทำต่อร่างกายในขณะที่ร่างกายทำกิจกรรมหนึ่ง เมื่อกิจกรรมนั้นเกี่ยวข้องกับการทำงานหรือการประกอบอาชีพเราจึงเรียกว่า ชีวกลศาสตร์ในการทำงาน (Occupational Biomechanics)

นักการยศาสตร์พยายามที่จะอธิบายการบาดเจ็บของร่างกายโดยอาศัยหลักการทางกลศาสตร์ มาวิเคราะห์โดยสร้างแบบจำลองที่สามารถใช้ทำนายความเสี่ยงของการบาดเจ็บเมื่อร่างกายอยู่ในท่าต่างๆหรือมีการทำงานในลักษณะต่างๆ ได้ ทำให้นักการยศาสตร์ประเมินความเสี่ยงของกิจกรรมหรืองานนั้นๆได้โดยพิจารณาจากแรงกระทำที่วิเคราะห์ได้ว่ามีค่าเกินขีดจำกัดความทนทาน (tolerance limit) ที่อวัยวะหรือเนื้อเยื่อจะทำได้หรือไม่ ถ้าแรงที่วิเคราะห์ได้มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดความทนทาน แสดงว่าร่างกายยังมีค่าเพื่อความปลอดภัย (safety margin) เมื่อไรก็ตามที่แรงนั้นถูกทำซ้ำเรื่อยๆ และร่างกายมีการเสื่อมสภาพลงก็อาจให้เกิดการบาดเจ็บได้

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของร่างกาย

การเคลื่อนไหวของร่างกายเกิดขึ้นจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ (muscle contraction) ซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของโครงสร้างเส้นใยภายในกล้ามเนื้อ (muscle fiber) ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อกล้ามเนื้อเกิดการหดตัวก็จะทำให้เกิดแรงดึงส่งผ่านไปยังเอ็น (tendon) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อส่วนปลายของกล้ามเนื้อที่ยึดติดกับกระดูก (bone) เพื่อส่งผ่านแรงไปยังส่วนหรือตำแหน่งของร่างกายที่ต้องการเคลื่อนไหวโดยทิศทางของแรงที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปยังโครงสร้างกระดูกส่วนอื่นๆจากชั้นหนึ่งไปยังอีกชั้นหนึ่งโดยอาศัยการทำงานร่วมกับลิแกเมนต์ (ligament) หรือเอ็นกระดูก ทำให้เราสามารถเคลื่อนไหวและใช้มือและขาในการทำงาน รวมถึงการหยิบจับ ผลักหรือดัน

การศึกษาคุณสมบัติทางกลของเนื้อเยื่อต่างๆในระบบกระดูกและกล้ามเนื้อหรือที่เรียกรวมๆกันว่าเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissues) ทำให้นักวิทยาศาสตร์เข้าใจถึงความสามารถและขีดจำกัดที่ร่างกายมีอยู่ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการอธิบายผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้นในขณะที่เรากำลังทำงานหรือเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบงานให้มีความเหมาะสมโดยมีความเสี่ยงน้อยที่สุด

แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์คือสมการทางคณิตศาสตร์ประยุกต์ที่ใช้ในทางกลศาสตร์วิศวกรรมเพื่ออธิบายและทำนายการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับ โมเมนต์และแรงกระทำที่เกิดในร่างกาย ภายหลังได้มีนักฟิสิกส์หรือนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรจำนวนหนึ่งได้นำความรู้ทางชีวกลศาสตร์ไปใช้ในการอธิบายความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อของร่างกายโดยนำผลการคำนวณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางกลของเนื้อเยื่อต่างๆว่ามีความเหมาะสมหรือไม่

วิธีการทางด้านชีวกลศาสตร์และแบบจำลองทางชีวกลศาสตร์ในการทำงาน เป็นเครื่องมือสำคัญที่ทำให้นักการยศาสตร์สามารถเข้าใจการเปลี่ยนแปลงของแรงและ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นในร่างกายภายใต้สภาพการทำงานต่างๆ โดยเฉพาะงานที่ต้องใช้แรงจากร่างกาย เช่น การยกหรือเคลื่อนย้ายสิ่งของ การทำงานโดยใช้เครื่องมือ รวมถึงการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ

โครงสร้างของร่างกายที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว

โครงสร้างของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อประกอบไปด้วยอวัยวะหลัก 6 อย่าง ได้แก่ เอ็น (tendons) ลิแกเมนต์ (ligament) เฟสเซีย (fascia) คาร์ติเลจ (cartilage) กระดูก (bone) และ กล้ามเนื้อ (muscle) สำหรับ

เอ็นดิกามนต์เฟสเซียคาร์ทีเลจและกล้ามเนื้อบางครั้งจะจัดอยู่ในกลุ่มของsoft tissue

1 ลิแกเมนต์ และเอ็น เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีความหนาแน่นสูง โดยลิแกเมนต์ทำหน้าที่เชื่อมต่อกระดูกกับกระดูกเพื่อให้โครงสร้างของกระดูกและข้อต่อมีความมั่นคง เนื่องจากคุณสมบัติและโครงสร้างของลิแกเมนต์มีลักษณะคล้ายกับเอ็น หนังสือบางเล่มจึงมักจะเรียกลิแกเมนต์ (ligament) ว่า “เอ็นกระดูก”

2 เฟสเซีย(fascia) เป็นเนื้อเยื่อพังพืดบางๆที่มีความหนาแน่นสูง ทำหน้าที่ห่อหุ้มและมัดรวมอวัยวะหรือเนื้อเยื่อต่างๆเช่น กล้ามเนื้อกระดูก เอ็นดิกามนต์เป็นต้นเพื่อจัดรวมหรือมัดอวัยวะหรือเนื้อเยื่อเข้าเป็นกลุ่มก้อนและแยกส่วนของอวัยวะนั้นออกจากส่วนอื่นๆ

3 เอ็น(tendon)เอ็นหรือเอ็นกล้ามเนื้อคือเนื้อเยื่อเกาะยึดที่มีปริมาณเส้นใยเป็นองค์ประกอบจำนวนมากส่วนของเอ็นที่มีการเคลื่อนที่จะมีปลอกหุ้มเอ็น(tendon sheath) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่มีเส้นใยเป็นส่วนประกอบล้อมรอบซึ่งจะพบได้บริเวณที่มีการเสียดสีกับอวัยวะอื่นๆ

ปลอกหุ้มเอ็นยังมีหน้าที่ช่วยให้เกิดการเคลื่อนไหวทางกลและการส่งผ่านแรงไปยังลิแกเมนต์(transverse ligament) ที่อยู่ในในปลอกหุ้ม โดยมีการเคลื่อนไหวส่งผ่านแรงในลักษณะเดียวกับมู่เล่หรือพู่เ่(pulley) และสายพาน เช่นระบบพู่เ่ของเอ็นนิ้วมือมีความสำคัญมากต่อการเคลื่อนไหวและทำงานของมือ ทำหน้าที่ฝืนธรรมชาติในขณะที่ทำงานหรือใช้แรงของมือ เช่น การงอข้อมือ เป็นต้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งการตั้งรั้งของเอ็น(tendon moment arm) เป็นผลให้ระยะห่างของเอ็นเคลื่อนออกจากแนวปกติเมื่อมีการเคลื่อนไหวของนิ้ว เป็นผลให้เกิดการเสียดสีมากขึ้น เมื่อลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นซ้ำๆ ก็จะนำไปสู่การอักเสบการบวมและเจ็บปวดได้

4 คาร์ทีเลจ(Cartilage) คาร์ทีเลจเป็นเนื้อเยื่อที่ปกคลุมอยู่บริเวณส่วนผิวของกระดูกหรือบางครั้งก็จะถูกเรียกว่า กระดูกอ่อน นอกจากนั้นก็เป็นส่วนประกอบอยู่ในอวัยวะของร่างกายหลายๆส่วนเช่นหูมุกทางเดินหายใจรวมถึงส่วนของหมอนรองกระดูกสัน

5 กระดูก(Bone) กระดูกโดยทั่วไปแบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่คือกระดูกยาว(long bone) ซึ่งได้แก่ส่วนของแขนขาและกระดูกส่วนแกน(axial bone: appendicular bone) ได้แก่กระโหลก(skull) กระดูกสันหลัง (vertebra) sternum, ribs and pelvis กระดูกส่วนแกนมักจะมีลักษณะแบบส่วนกระดูกยาวจะมีลักษณะกลม กระดูกทั้งสองกลุ่มมีโครงสร้างพื้นฐานที่เหมือนกันคือมีส่วนของเปลือกกระดูก (cortical bone) และเนื้อกระดูก (cancellous bone: spongy bone) เปลือกกระดูกจะมีความหนาแน่นสูงมากเมื่อเทียบกับ เนื้อกระดูกหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งนั่นคือมีความพรุนต่ำ(porosity) กว่าเนื้อกระดูก(cancellous bone) ความพรุนของเปลือกกระดูกอยู่ที่ประมาณ5-30% ส่วนของเนื้อกระดูกอยู่ระหว่าง30-90%

6 กล้ามเนื้อ โครงกระดูก(Skeletal Muscle) กล้ามเนื้อเป็นเนื้อเยื่อส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกาย การหดตัวของกล้ามเนื้อทำให้อวัยวะเกิดการเคลื่อนไหว ระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อโครงกระดูกมีน้ำหนักรวมทั้งหมดรวมกันเกือบ50% ของร่างกายและมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเผาผลาญอาหารของร่างกายเกือบ50% เช่นกัน กล้ามเนื้อโครงกระดูกมีประมาณ400 ส่วนทั่วร่างกายแต่ละส่วนมีหน้าที่เฉพาะที่แตกต่างกัน

เครื่องมือและวิธีการต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์

(1) การวัดข้อมูลสัดส่วนร่างกายและน้ำหนัก(anthropometric measurement) เครื่องมือที่ใช้ได้แก่เครื่องชั่งน้ำหนักเครื่องวัดสัดส่วนร่างกาย(anthropometer) เทปวัดเป็นต้นอ่านรายละเอียดได้ในหน่วยเรื่องการวัดสัดส่วนร่างกายและประยุกต์ใช้สัดส่วนร่างกายในงานการยศาสตร์

- (2) การวัดท่าทาง(posture) เป็นการวัดมุมที่ข้อต่อร่างกายและตำแหน่งของส่วนร่างกายเครื่องมือที่ใช้ได้แก่โกนิโอมิเตอร์ (Goniometer) แฟกโซมิเตอร์(Flexometer)
 - (3) การเคลื่อนไหว(motion) เป็นการวัดท่าทางที่เปลี่ยนค่าไปตามเวลาความเร็วและความเร่งในการเคลื่อนไหวของชิ้นส่วนร่างกายต่างๆ เครื่องมือที่ใช้วัดเรียกว่าโมชันแอนาไลเซอร์(motion analyzer)
 - (4) การวัดการทำงานของกล้ามเนื้อหรือวัดการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ(Electromyography:EMG) เพื่อพิจารณาว่ากล้ามเนื้อมีการใช้งานมากน้อยเพียงใดในกิจกรรมหนึ่งรวมถึงใช้เป็นข้อมูลเพื่อตรวจสอบความล้าและข้อจำกัดของปริมาณแรงที่สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องในการทำงาน
 - (5) การวัดแรงคั้นต่างๆเช่นในหมอนรองกระดูกหรือในช่องท้องใช้เพื่อดูการทำงานของกล้ามเนื้อหน้าท้อง ในขณะที่มีการใช้แรงโดยเฉพาะการยกเคลื่อนย้ายสิ่งของแบบจำลองทางชีวกลศาสตร์บางอัน ได้ใช้ข้อมูลนี้ประกอบการคำนวณแรงกดบนหมอนรองกระดูก
 - (6) การทดสอบความสามารถในการใช้แรงของร่างกายทั้งแบบสถิตและพลวัตอาจเป็นการวัด โมเมนต์ที่เกิดจากร่างกายที่ส่วนใดส่วนหนึ่งหรือวัดแรงที่ร่างกายสามารถสร้างได้สูงสุดในท่าทางต่างๆ
 - (7) การวัดเปลี่ยนค่าความสูงของร่างกาย (Stadiometer) เพื่อประมาณปริมาณของแรงที่กระทำต่อร่างกายโดยเฉพาะ โครงสร้างกระดูกสันหลังทำให้ความสูงของร่างกายโดยรวมลดลง
 - (8) การวัดแรงของเท้ากระทำต่อพื้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาในแบบจำลองทางชีวกลศาสตร์
 - (9) การวัดแรงบีบของมือ (Power grip) และแรงบีบของนิ้วมือ(Pinch grip) เพื่อดูความสามารถของมือและนิ้วมีประโยชน์ในเรื่องของการออกแบบเครื่องมือต่างๆที่ต้องใช้มือในการหยิบจับทำงาน
- จากรายละเอียดข้างต้นจะเห็นว่าเครื่องมือที่ใช้ในทางชีวกลศาสตร์นั้นแบ่งได้เป็น2 กลุ่มใหญ่ๆคือ เครื่องมือวัดท่าทางการเคลื่อนไหว และ เครื่องมือวัดแรง ท่าทางและการเคลื่อนไหวเป็นความรู้พื้นฐาน

สำคัญสำหรับการศึกษาทางชีวกลศาสตร์ กลไกและการทำงานต่างๆภายในร่างกายไปจนถึงการหัดเครื่องของ

1. โกนิโอมิเตอร์(Goniometer)

โกนิโอมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมุมข้อต่อร่างกาย (joint range of motion: ROM) ที่เกิดจากชิ้นส่วนที่ต่อเชื่อมกันมีการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงไป โกนิโอมิเตอร์แบบดั้งเดิมมีลักษณะคล้ายไม้โปรแทคเตอร์ที่มีสองขา เชื่อมต่อกันที่ศูนย์กลางของแผ่นวงกลมเพื่อใช้ในการวัดมุมของแขนโปรแทคเตอร์ทั้งสอง

2. แฟกโซมิเตอร์(Flexometer)

เครื่องวัดการ โนม์เอียง(Flexometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดมุมออกแบบ โดย J.R. Leighton

(1955) ลักษณะของเครื่องมือที่เป็นแบบดั้งเดิมดังแสดง เครื่องมือนี้มีข้อดีตรงที่สามารถวัดมุมของส่วนร่างกายเทียบกับแนวตั้งโดยอาศัยเวกเตอร์ที่เกิดจากแรง โนม์ถ่วงมาเป็นตัวเปรียบเทียบซึ่งเป็นข้อจำกัดของ โกนิโอมิเตอร์ที่ไม่สามารถทำการวัดในลักษณะดังกล่าวได้ ปัจจุบันเครื่องมือวัดการ โนม์เอียงได้ถูกพัฒนาออกมาเป็นแบบดิจิทัล ทำให้ง่ายต่อการวัด เพราะสามารถบันทึกข้อมูลลงบนหน่วยความจำของเครื่องและสามารถนำออกมาวิเคราะห์ได้ วิธีการใช้งานเครื่องมือนี้ทำโดยการรัดไว้กับส่วนที่เป็นจุดข้อ

3. โฟโตแกรมมิเตอร์(Photogrammeter)

โฟโตแกรมมิเตอร์(Photogrammeter) เป็นเทคนิคที่อาศัยภาพถ่ายวีดิโอ โดยมีอุปกรณ์สะท้อนแสงที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งข้อต่อติดไว้ที่ร่างกายหลังจากนั้นก็ถ่ายภาพหรือวีดิโอที่ได้มาทำการวิเคราะห์อีกทีด้วย

ค่อนข้างใช้เทคโนโลยีสูงและมีการคำนวณมาก จึงมีราคาค่อนข้างแพง แต่ก็มีความสะดวกสบายสามารถวิเคราะห์ได้หลายทิศทางนอกจากนี้หากใช้กล้องวิดีโอความเร็วสูง ยังสามารถนำไปวิเคราะห์ความเร็วและความเร่งของการเคลื่อนที่ได้ด้วย ซึ่งเหมาะกับลักษณะของงานที่ต้องการวิเคราะห์แบบพลวัต ปัจจุบัน

สมบัติทางกลของส่วนต่างๆของร่างกาย

1. คุณสมบัติทางกลของเส้นใยในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันต่างๆ

เนื้อเยื่อเกี่ยวพันประกอบด้วยเซลล์และวัสดุสารเส้นใยสูงชนิดต่างๆซึ่งภายในประกอบด้วยเส้นใย (fibers) และวัสดุสารสำหรับเกาะยึด(ground substance) โดยเซลล์จะทำหน้าที่ผลิตวัสดุสารเส้นใยสูงเหล่านั้น ซึ่งมีคุณลักษณะเชิงกลที่แตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของเส้นใยที่สร้างขึ้นมา เส้นใยของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันนี้แบ่งเป็น2 ประเภทคือเส้นใยคอลลาเจน(collagen fibers) และเส้นใยอีลาสติก(elastic fiber) ปริมาณของเส้นใยสองชนิดที่เป็นส่วนประกอบในเนื้อเยื่อที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณสมบัติทางกลของเนื้อเยื่อเหล่านั้น คอลลาเจนถือเป็นองค์ประกอบและมีอยู่เป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับเส้นใยอีลาสติก ลักษณะของคอลลาเจนในเนื้อเยื่อต่างๆยังมีความแตกต่างกันมากกว่า15 รูปแบบแต่ที่มีมากที่สุดคือ3 รูปแบบต่อไปนี้ รูปแบบที่1 (Type I collagen) พบว่ามีอยู่ในเอ็นลิแกเมนต์กระดูกผิวหนังและเนื้อเยื่อที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม รูปแบบที่2 (Type II collagen) มีมากในคาร์ทีลิจและหมอนรองกระดูก(disc) รูปแบบที่3 (Type III collagen) เป็นส่วนประกอบในผนังของเส้นเลือดขนาดใหญ่และในผิวหนัง

2. คุณสมบัติทางกลของกระดูก

คุณสมบัติทางกลของกระดูก ส่วนของเปลือกกระดูกจะมีความแข็งและแกร่งมากกว่าส่วนของเนื้อกระดูกคุณสมบัติในการรับแรงของกระดูกมีความแตกต่างกันในแต่ละทิศทางซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของวัสดุแบบแอนนิโซทรอปิก (anisotropic material)

ในการศึกษาคุณสมบัติทางกลของเนื้อเยื่อต่างๆของร่างกายเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านชีวกลศาสตร์ นั้นเป็นการศึกษาคุณสมบัติโดยรวมมากกว่าการศึกษารายละเอียดในส่วนย่อยๆ ของเนื้อเยื่อเหล่านั้น (Chaffin, Andersson et al. 2006) คุณสมบัติทางกลที่สำคัญของกระดูกคือความแข็งแรงและความแกร่ง (Strength and Stiffness) เมื่อมีแรงกระทำต่อกระดูกถึงจุดวิบัติ (failure) กระดูกจะเกิดความแตกหัก (fracture) การแตกหักของกระดูกในส่วนของเนื้อกระดูก(cancellous bone) เกิดได้ทั้งจากแรงดึง (tension force) และแรงกด(compressive force) แรงดึงที่ว่าสามารถเกิดได้จากการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ส่งผ่านมาทางเอ็น(tendon) และแรงมาจากกระดูกด้วยกัน ขณะที่แรงกดที่ทำให้เกิดการแตกหักจะมาจากแรงภายนอกมากกว่า ตัวอย่างเช่น การแตกของกระดูกโหลกศีรษะเนื่องจากมีแรงกระทำจากภายนอก การแตกหักเนื่องจากแรงเฉือน(shear force) ก็เป็นสาเหตุหลักอันหนึ่งที่ทำให้เนื้อกระดูก(cancellous bone) เกิดการแตกหัก ส่วนของเปลือกกระดูกซึ่งมีความทนต่อแรงกดมากกว่าแรงดึงและทนต่อแรงดึงมากกว่าแรงเฉือน นอกจากนี้ยังมีหลักฐานจำนวนมากที่พบว่าการแตกหักของกระดูกเกิดจากแรงดัด(bending forces) แรงบิด(torsional forces) หรืออาจเกิดจากแรงหลายๆอย่างกระทำร่วมกัน

แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์

แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์เป็นการนำเอาหลักการกลศาสตร์มาประยุกต์เพื่อวิเคราะห์แรงกระทำต่างๆที่เกิดขึ้นทั้งจากภายนอกและภายในร่างกาย หลักการทางกลศาสตร์ที่สำคัญได้แก่สมดุลของแรงและโมเมนต์ แบบจำลองช่วยให้เราเข้าใจว่าอวัยวะต่างๆในร่างกายมีการรับแรงมากน้อยเพียงใดซึ่งบางครั้งการใช้เครื่องมือวัดโดยตรงไม่สามารถทำได้

แบบจำลองที่ไม่ได้พิจารณาผลของแรงจากกล้ามเนื้อภายในนั้นจะให้ผลลัพธ์ของการทำนายค่าแรงกระทำต่ออวัยวะต่างๆ ของร่างกายน้อยกว่าความเป็นจริงมากแต่การพิจารณาแรงภายในจากกล้ามเนื้อจำนวนมาก ก็ทำให้แบบจำลองมีความซับซ้อนและยากในการหาคำตอบ

แรงกระทำต่ออวัยวะต่างๆ ของร่างกายที่ได้จากแบบจำลองจะถูกนำไปพิจารณาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางกลและความทนทานของอวัยวะส่วนนั้นซึ่งความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บไม่ได้ใช้ค่าความทนทานสูงสุดมาเป็นเกณฑ์ การกำหนดเกณฑ์ความปลอดภัยต้องให้แน่ใจว่าคนส่วนใหญ่มีความปลอดภัย

1. แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ เช่นงานยกสิ่งของเพื่อวิเคราะห์หาแรงกระทำต่อหมอนรองกระดูกว่าจะเกินกว่าความแข็งแรงที่อวัยวะส่วนนั้นจะรับได้หรือไม่
2. แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์ของมือถูกใช้เพื่อพิจารณาแรงดึงของเอ็นแรงเสียดสีที่เกิดจากการเคลื่อนไหวและงอไปมาของมือทำให้ผู้ออกแบบได้เข้าใจว่าขนาดของเครื่องมือที่ใหญ่หรือเล็กไปจะส่งผลอย่างไรบ้างต่อเนื้อเยื่อเหล่านั้นจะมีแรงกระทำมากน้อยเพียงใด
3. แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์ยังนำไปใช้อธิบายถึงการเชื่อมโยงของสิ่งๆ ที่ออกแบบกับการใช้แรงของร่างกายเพื่อให้ผู้ออกแบบได้เข้าใจว่าลักษณะของอุปกรณ์ที่ออกแบบนั้นจะได้เปรียบเชิงกลมากน้อย

การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์ในงานยกสิ่งของ

งานยกเคลื่อนย้ายสิ่งของถือว่าเป็นปัญหาใหญ่ในงานด้านการยศาสตร์ เนื่องจากมีข้อมูลพบว่าการบาดเจ็บของพนักงานจำนวนมากเกิดจากการยกเคลื่อนย้ายสิ่งของที่ไม่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์ หรือเคลื่อนย้ายสิ่งของที่มีน้ำหนักมาก และยังพบว่า การบาดเจ็บที่เกิดขึ้นจากการยกเคลื่อนย้ายสิ่งของนั้นจะเกิดบริเวณหลังส่วนล่างมากกว่าบริเวณอื่นๆ

การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์ในการออกแบบเครื่องมือ

นอกจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์ไปทำนายค่าของแรงกดของหมอนรองกระดูกสันหลังที่เกิดจากการยกสิ่งของแล้วหลักการทางชีวกลศาสตร์ยังนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องมือได้ด้วยเช่นกัน แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องมือเป็นแบบจำลองที่ใช้เพื่อทำนายค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในเส้นเอ็นต่างๆ ขณะที่มีการใช้แรงและการเคลื่อนไหวของเพื่อทำงานกับเครื่องมือชิ้นหนึ่งๆ

ปัญหาการบาดเจ็บของมือและข้อมือที่พบบ่อยๆ คือ

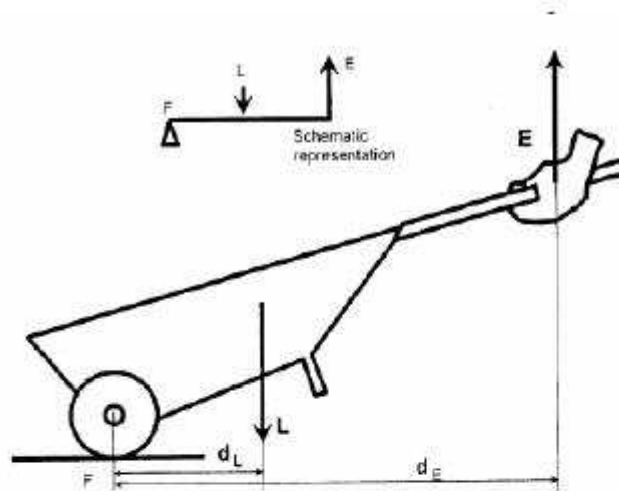
- (1) การอักเสบของเอ็นหรือไซโนเวียม(wrist tenosynovitis หรือtendinitis) เกิดขึ้นในส่วนของเอ็นนิ้วมือหรือไซโนเวียมที่ล้อมรอบเอ็นทำให้เกิดการเจ็บปวดขณะที่มีการใช้มือ
- (2) การบวมหรือถุงของเอ็นผิดปกติ(Ganglionic cysts) บริเวณข้อมือหรือบริเวณข้อต่อของกระดูกนิ้วมือทำให้เกิดการเจ็บปวดเฉพาะจุดที่มีปัญหา
- (3) การอักเสบของอุโมงค์ข้อมือ(Carpal tunnel syndrome) ทำให้เกิดการเจ็บปวด ชาผิวหนังขาด

ความรู้สึกและอาจทำให้กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องลึบตึบไป

แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์ที่นำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องมือนั้นเป็นแบบจำลองของมือ แสดงให้เห็นแรงดึงของเอ็นที่เกิดขึ้นขณะที่นิ้วมีการกำรอบเครื่องมือ คันโยกหรือวัตถุต่างๆเป็นผลให้เกิดแรงกระทำและโมเมนต์กับส่วนของนิ้วมือ(finger) และข้อมือ(wrist)

เราสามารถพิจารณาการปรับรูปทรงของรatchet ได้ด้วยสมการสมดุลของโมเมนต์ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \\ E x d_E &= L x d_L \\ E &= \frac{L x d_L}{d_E}\end{aligned}$$



ภาพที่ 7.58 แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์แสดงให้เห็นแรงที่ร่างกายใช้ (E) ในการยกเรตช์

จากสมการข้างต้นการลดแรงที่ร่างกายใช้ (E) สามารถทำได้ 3 แนวทางคือ (1) การเพิ่มระยะของ d_E (2) การลดน้ำหนักของ L (3) การลดระยะของ d_L การดำเนินการในข้อ 1 และ 2 อาจไม่สามารถทำได้เนื่องจากมีข้อจำกัดเช่น ทำให้ลีดมีความขามากขึ้น หรือน้ำหนักที่บรรจุได้น้อยลง เป็นต้น หลักการในข้อสุดท้ายเป็นสิ่งที่น่าจะนำมาใช้ได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ เช่น การเลื่อนจุดหมุนของลีดมาอยู่ที่ส่วนกลางของตัวลีดทำให้ระยะของ d_L ลดน้อยลง หรืออีกด้านหนึ่งคือการออกแบบรูปทรงของตัวลีดเพื่อทำให้น้ำหนักรวมของเรตช์และสิ่งของที่อยู่ภายในมีจุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ใกล้หรือผ่านจุดหมุนซึ่งในที่นี้คือแกนหมุนของลีด

นอกเหนือจากแบบจำลองทางกลศาสตร์แล้วหลักการทางด้านชีวกลศาสตร์เกี่ยวกับความแข็งแรงของ