การประเมินภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนของเด็กนักเรียนชั้นประถมศึกษาตามแนวทางชีวกลศาสตร์

นางสาวสุธาริน สุวรรณโห

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

WORK LOAD EVALUATION OF THE SCHOOL BAG CARRYING OF PRIMARY STUDENTS BASED ON BIOMECHANICAL APPROACH

Miss Sutharin Suvarnaho

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนของเด็กนักเรียนชั้นประถมศึกษา ตามแนวทางชีวกลศาสตร์
โดย	นางสาวสุธาริน สุวรรณโห
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล)

…… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ อดิศักดิ์ ผลิตผลการพิมพ์)

สุธาริน สุวรรณโห : การประเมินภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนของเด็กนักเรียนชั้นประถมศึกษา ตามแนวทางชีวกลศาสตร์. (WORK LOAD EVALUATION OF THE SCHOOL BAG CARRYING OF PRIMARY STUDENTS BASED ON BIOMECHANICAL APPROACH) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 108 หน้า.

ปัจจุบันปัญหาที่เกิดกับนักเรียนประถมศึกษา คือ การแบกกระเป๋านักเรียนหนักเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัว การแบกกระเป๋านักเรียนถือเป็นภาระงานอย่างหนึ่ง ซึ่งการประเมินภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนของเด็กนักเรียนชั้นประถมศึกษาในงานวิจัยนี้ใช้เกณฑ์ตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต ผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นนักเรียนโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจำนวน 341 คน เป็นนักเรียนชาย 178 คนและนักเรียนหญิง 163 คน อายุระหว่าง 6 – 12 ปี ที่ได้รับการยินยอมให้เข้าร่วมการวิจัยจากผู้ปกครองเท่านั้น

จากการทดสอบกำลังสถิตกล้ามเนื้อพบว่ากำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆเป็นท่าที่ให้ค่ากำลังสถิตสูงที่สุด รองลงมาคือกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนและกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ตามลำดับ ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์พบว่ากำลังสถิตกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยกับน้ำหนักตัวหรือภาวะโภชนาการอย่างมีนัยสำคัญในนักเรียนแต่ละอายุ ดังนั้นน้ำหนักตัวหรือดัชนีมวลกายตามอายุและเพศไม่สามารถเป็นตัวชี้วัดน้ำหนักกระเป๋านักเรียนที่เหมาะสมได้ในนักเรียนอายุเดียวกัน

น้ำหนักกระเป๋านักเรียนมีค่าเฉลี่ยที่ 11.14% ของน้ำหนักตัว ซึ่งแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 18 % ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100 % ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ และภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนอยู่ประมาณ 1 ใน 3 ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 15 % ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ (กำหนดให้เป็นระดับความปลอดภัย) ดังนั้นภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนนี้อาจเป็นภาระงานเบาโดยการพิจารณาจากแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา 2554 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

5370365221 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS : BIOMECHANIC / THE SCHOOL BAG CARRYING /
STATIC STRENGTH / COMPRESSIVE FORCE ON THE LOWER BACK

SUTHARIN SUVARNAHO: WORK LOAD EVALUATION OF THE SCHOOL BAG CARRYING OF PRIMARY STUDENTS BASED ON BIOMECHANICAL APPROACH. ADVISOR : PHAIROAT LADAVICHITKUL, Ph.D., 108 pp.

Nowadays, a problem of Thai primary students is to carry a heavy school bag relatively to their student weight. The school bag carrying task can be classified as a carrying workload. This workload was evaluated based on a biomechanical static model. 341 primary students (178 boys and 163 girls) aged between 6 to 12 years old were recruited voluntarily for the research.

Composite static strength presented the highest values followed by Grip static strength, Arm static strength and Shoulder static strength, respectively. The statistic results showed that the body weight is not significantly relate to the body strength. Therefore student weight should not be used as an indicator to evaluate the safe weight school bag.

The compressive force on the lower back while carrying the school bag was about 18% of maximum voluntary compressive force on the lower back calculated from the composite strength test. In this research, the school bag carrying task with weight at 11.14% of body weight was evaluated at about one-third of the safe level. Therefore, this task might be low based on the biomechanical task assignment.

Department : Industrial Engineering Student's Signature .....
Academic Year : 2011 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี ด้วยความกรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษาแนะนำอย่างใกล้ชิดจากอาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ นพ. อดิศักด์ ผลิตผลการพิมพ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ กุลธิดา เตชวรสินสกุล ที่กรุณาสละเวลาตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ และได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและชัดเจน ผู้วิจัยถือโอกาสขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณผู้บริหาร ครู อาจารย์ ผู้ปกครอง นักเรียนโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นอย่างสูงที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูล

ขอขอบคุณ คุณวิภูมิ วิมลเศรษฐและผู้เกี่ยวข้องทุกท่านจากห้องปฏิบัติการการยศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความรู้ คำแนะนำและช่วยเก็บข้อมูล

สุดท้ายผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือในทุกด้านแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย..... 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การคำนวณภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่าง..... 5

2.2 เกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์..... 6

2.3 การศึกษาหาค่าแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง..... 11

2.4 การศึกษาหาแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังรับได้..... 13

2.5 การศึกษาหาความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อ..... 15

2.6 ข้อแนะนำสำหรับงานยกโดยอาศัยแนวทางชีวกลศาสตร์..... 15

2.7 การประเมินภาวะโภชนาการของประชากร..... 17

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 18

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ผู้เข้าร่วมทดสอบ..... 22

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 22

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล..... 24

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางชีวกลศาสตร์..... 25

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การทดสอบกำลังสถิตกล้ามเนื้อ…….. 27

4.2 การทดสอบค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์…….. 33

4.3 แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง……... 41

4.4 การเปรียบเทียบแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนกับแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆ…….. 43

4.5 การเปรียบเทียบการสำรวจน้ำหนักตัวและน้ำหนักกระเป๋านักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6……. 53

4.6 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ของนักเรียนประถมศึกษากับกลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย……..... 53

4.7 การเปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าของนักเรียนประถมศึกษากับกลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย……... 54

4.8 การเปรียบเทียบภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียน…….. 57

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยละข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย…… 58

ปัญหาและข้อเสนอแนะ…… 60

รายการอ้างอิง…….. 62

ภาคผนวก…… 65

ภาคผนวก ก หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัยสำหรับผู้ปกครอง…….. 66

ภาคผนวก ข ข้อมูลพื้นฐานของนักเรียนและฮิสโตรแกรมแสดงแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง…… 71

ภาคผนวก ค การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยกำลังสถิตของกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าของนักเรียนชายกับนักเรียนหญิงและการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขนกับไหล่, มือกับส่วนต่างๆ…… 78

ภาคผนวก ง มวลของส่วนต่างๆของร่างกายและจุดศูนย์กลางมวล…….. 93

ภาคผนวก จ ตัวอย่างการคำนวณการหาแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง……... 95

หน้า

ภาคผนวก ฉ การวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ..... 103
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 108

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าCompressive strengthของกระดูกสันหลังที่นักวิจัยท่านอื่นได้ทำการวิจัย…	14
2.2	ค่าน้ำหนักแนะนำที่ยกได้ขณะทำงานของ NIOSH……	16
2.3	คำแนะนำช่วงน้ำหนักที่เหมาะสมในการยกของในแต่ละช่วงอายุของผู้ยกย้ายของ ILO……	16
2.4	ภาวะทางโภชนาการของเด็กอายุ 2-20 ปีตามค่าเปอร์เซนต์ไทล์ของ BMI -For-Age and gender……..	18
4.1	ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของน้ำหนัก, ส่วนสูง, น้ำหนักกระเป๋า และ BMI ……...	26
4.2	ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ, กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนและกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่……..	28
4.3	ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของสัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือต่อน้ำหนัก ร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆต่อน้ำหนัก, ร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนต่อน้ำหนักและร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ต่อน้ำหนัก……	30
4.4	แสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์และค่า p-valueระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ , แขน, ส่วนต่างๆ, ไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูงและ BMI ของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 6 ปี.....	34
4.5	แสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์และค่า p-valueระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ , แขน, ส่วนต่างๆ, ไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูงและ BMI ของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 7 ปี……	35
4.6	แสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์และค่า p-valueระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ , แขน, ส่วนต่างๆ, ไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูงและ BMI ของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 8 ปี……	36
4.7	แสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์และค่า p-valueระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ , แขน, ส่วนต่างๆ, ไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูงและ BMI ของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 9 ปี……	37

ตารางที่ หน้า

4.8 แสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์และค่า p-valueระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ , แขน, ส่วนต่างๆ, ไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูง และ BMI ของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 10 ปี……. 38

4.9 แสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์และค่า p-valueระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ , แขน, ส่วนต่างๆ, ไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูงและ BMI ของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 11 ปี…….. 39

4.10 แสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์และค่า p-valueระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ , แขน, ส่วนต่างๆ, ไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูงและ BMI ของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 12 ปี…….. 40

4.11 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจาก 100%ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ…… 41

4.12 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากการสะพายกระเป๋านักเรียน……. 42

4.13 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆของนักเรียนประถมศึกษา…… 44

4.14 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของสัดส่วนร้อยละแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆต่อแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจาก 100%ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ…… 47

4.15 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของคำนวณน้ำหนักกระเป๋าจากภาพที่ 4.4…….. 50

4.16 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของสัดส่วนร้อยละแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนต่อแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆ……... 52

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ระยะห่างของแนวแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อเอกซ์เทนเซอร์อีเรคเตอร์สไปแน (F_M) จากจุดศูนย์กลางของหมอนรองกระดูกสันหลัง L5/S1……..	5
2.2	ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะสถิต……..	7
2.3	ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะพลวัต……	9
2.4	ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนตั้งบริเวณ L5/S1……..	11
2.5	ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนนอนบริเวณ L5/S1……	12
2.6	ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง……	12
2.7	กราฟ BMI-For-Age สำหรับเพศหญิง……..	17
2.8	กราฟ BMI-For-Age สำหรับเพศชาย……	18
3.1	เครื่องวัดแรงดึง Tension / Compression Load cell Model No.616 พร้อม Digital Display Model PAX-1/8 DIN ANALOG INPUT PANEL METER…...	22
3.2	เครื่องวัดกำลังกล้ามเนื้อมือ Grip Dynamometer (G100) Biometrics E-LINK H400S Datalink Software version 5.0……..	22
3.3	กล้องถ่ายรูป CANON DIGITAL IXAS 120 IS……	23
3.4	แบบบันทึกการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อ……	23
4.1	เปอร์เซนไทล์ที่ 5, 50และ95 ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าของนักเรียนประถมศึกษาอายุระหว่าง 6-12 ปี……	29
4.2	เปอร์เซนไทล์ที่ 5, 50และ95 ของสัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าต่อน้ำหนักของนักเรียนประถมศึกษาอายุระหว่าง 6-12 ปี……	31
4.3	แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆของนักเรียนอายุ 6 - 12 ปี.	45
4.4	สัดส่วนร้อยละแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆของนักเรียนประถมศึกษาอายุระหว่าง 6-12 ปี……	48
4.5	กำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าของนักเรียนชั้นประถมศึกษาอายุระหว่าง 6 - 12 ปี และกลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยอายุระหว่าง 18 – 42 ปี ของกิตติและคณะ, 2531……	55

ภาพที่ หน้า

4.6 สัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าต่อน้ำหนักของนักเรียนชั้นประถมศึกษาอายุระหว่าง 6-12 ปีและกลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยอายุระหว่าง18-42 ปีของกิตติและคณะ, 2531..... 56

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อและกระดูกเป็นปัจจัยสำคัญในการทำกิจกรรมต่างๆของเด็ก ซึ่งส่วนใหญ่เด็กมักจะทำกิจกรรมต่างๆโดยใช้เวลาอยู่ที่โรงเรียนโดยประมาณวันละ 8 ชั่วโมง 5 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลาทั้งหมด 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 25 ของเวลาทั้งหมดต่อสัปดาห์ ดังนั้น จึงปฏิเสธไม่ได้เลยว่า โรงเรียนเป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเด็ก ดังนั้นข้อมูลความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อและกระดูกของเด็ก เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทราบเพื่อเป็นประโยชน์ในการป้องกันอันตรายและแก้ปัญหาที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเด็ก

ในปัจจุบันปัญหาที่เกิดกับนักเรียนประถมศึกษามีมากมาย หนึ่งในปัญหาที่มีความสนใจทั้งในโลกอินเทอร์เน็ต หน้าหนังสือพิมพ์ และในสื่อต่างๆมานานแล้ว แต่ก็ไม่มีการแก้ปัญหาที่เป็นระบบอย่างจริงจังได้ คือ ปัญหาการแบกกระเป๋านักเรียนที่หนักเกินไป ศูนย์วิจัยเพื่อสร้างเสริมความปลอดภัยและป้องกันการบาดเจ็บในเด็ก คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี กล่าวว่า โรคกระดูกสันหลังคดเกิดได้จากสองกรณีคือ เกิดจากพันธุกรรมและเกิดจากพฤติกรรม ซึ่งพฤติกรรมที่กล่าวนี้รวมไปถึงการแบกของหนักๆมากเกินไปอีกด้วย สำหรับโรคกระดูกสันหลังคดนี้หากพบในเด็กที่มีอายุต่ำกว่า 3 ปี จะมีโอกาสหายขาดได้เองจากการเจริญเติบโตถึงร้อยละ90 แต่ช่วงเด็กอายุ 3-10 ปี นั้นหากเป็นมาก จำเป็นต้องได้รับการรักษาด้วยวิธีผ่าตัดเท่านั้น (สำนักงานกองทุน สนันสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2552)

จากการสำรวจน้ำหนักตัวและน้ำหนักกระเป๋านักเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 ของศูนย์วิจัยเพื่อสร้างเสริมความปลอดภัยและป้องกันการบาดเจ็บในเด็ก คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดีพบว่า มากกว่า 80% ของนักเรียนกลุ่มนี้ ต้องแบกสัมภาระไปโรงเรียนด้วยกระเป๋ารูปแบบต่างๆ ที่มีน้ำหนักมากกว่า 10% ของน้ำหนักตัว ซึ่งเป็นน้ำหนักที่ไม่เหมาะสม ในจำนวนนี้มีถึง 25% แบกสัมภาระน้ำหนักกว่า 20% ของน้ำหนักตัว ซึ่งถือว่าเป็นน้ำหนักอันตรายที่จะส่งผลต่อกล้ามเนื้อและกระดูกสันหลัง โดยมากกว่า 70% ของนักเรียนกลุ่มนี้ใช้กระเป๋านักเรียนแบกหลังทำให้น้ำหนักกดทับตรงกล้ามเนื้อต้นคอ, ไหล่, หลังและกระดูกสันหลัง และ 29% ของนักเรียนกลุ่มนี้มีอาการปวดคอ, ไหล่หรือหลัง ในสัปดาห์ที่ทำการสำรวจ พฤติกรรมและอาการดังกล่าว ดร.โอ๊ต บูรณะสมบัติ นายกสมาคมการแพทย์ ไคโรแพรคติกแห่งประเทศไทย ให้

ความเห็นว่า นักเรียนเหล่านี้เสี่ยงต่อการเป็น “กระดูกสันหลังคด” คือ ภาวะที่กระดูกมีความโค้งในแนวซ้ายขวาที่ผิดปกติ ส่งผลให้กระดูกสันหลังมีรูปร่างคดคล้ายรูปตัวเอส (S) บริเวณที่มีกระดูกสันหลังคดมักจะพบที่กระดูกสันหลังระดับอกหรือระดับอกต่อกับระดับเอว หรือเกิดเฉพาะในหลังตอนล่าง (สำนักงานกองทุน สนันสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2552)และอาจารย์มงคล ศรีวัฒน์ อาจารย์ประจำภาควิชาปรัชญาและศาสนา ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการปรับสมดุลและเพิ่มพลังชีวิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กล่าวว่า การที่หิ้วกระเป๋าหนักๆ หรือนั่งหน้าคอมพิวเตอร์นานๆ นั้น ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเกร็งตัว โดยเส้นจะตึงไปตลอดทั้งตัว ซึ่งจากการที่เคยตรวจสภาพความยืดเหยียดในเด็กนักเรียนพบว่าเด็กไทยมีปัญหาเกี่ยวกับเส้นยืดเส้นตึงเป็นจำนวนมาก และนำมาซึ่งปัญหาด้านข้อต่อของกระดูก (ASTVผู้จัดการออนไลน์, 2550)

จากการจัดเสวนาเรื่อง "โรคอ้วน...ภัยเงียบที่คุกคามเด็กไทย"วันที่ 2 มีนาคม พ.ศ. 2553 ณ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ศาสตราจารย์ นายแพทย์ปิยมิตร ศรีธรา ผู้อำนวยการศูนย์หัวใจหลอดเลือดและเมแทบอลิซึม รองหัวหน้าภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล กล่าวว่า ปัญหาภาวะอ้วนในบ้านเราเพิ่มขึ้นตลอด จากการสำรวจสภาวะของประเทศไทย พบว่าหญิงไทยและชายไทย อายุเกิน 15 ปี อยู่ในภาวะอ้วน เกินร้อยละ 40 และร้อยละ 32 ตามลำดับ โดยอาจารย์อุรุวรรณ แย้มบริสุทธิ์ จากสถาบันโภชนาการ กล่าวถึงสถานการณ์ของโรคอ้วนอีกว่า ในปี 2547 จากการสำรวจเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปี ในทุกภาครวม 9,400 คน ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ พบเด็กอ้วนร้อยละ 6.9 ขณะที่โรงพยาบาลเด็กสำรวจเด็กกรุงเทพมหานคร อายุ 2-7 ปี พบว่ามีเด็กอ้วนร้อยละ 16.4 และกรมอนามัยสำรวจเด็กวัยเรียน อายุ 6-14 ปี พบถึงร้อยละ 15 หากดูภาพรวมจากการสำรวจจากที่ต่างๆ เหมือนมีจำนวนไม่มาก แต่ถ้าไปเจาะที่โรงเรียนสาธิตหรือโรงเรียนเอกชน คาดว่าตัวเลขจะสูงพุ่งขึ้นไปถึงร้อยละ 25-30 (หนังสือพิมพ์ข่าวสดออนไลน์, 2553) เพราะภาวะน้ำหนักเกินทำให้เซลล์ไขมันเพิ่มขึ้น ฉะนั้นน้ำหนักเด็กอาจไม่สัมพันธ์กับความแข็งแกร่ง กล่าวคือเด็กที่มีน้ำหนักมากอาจมีความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อน้อยกว่าเด็กที่มีน้ำหนักน้อยกว่าในอายุเท่ากัน ดังนั้นน้ำหนักเด็กอาจไม่สามารถชี้วัดน้ำหนักที่สามารถแบกหรือน้ำหนักกระเป๋านักเรียนได้ (ไพโรจน์, 2554)

การแบกกระเป๋านักเรียนเป็นภาระงานอย่างหนึ่งซึ่งจำนวนความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับจำนวนเซลล์กล้ามเนื้อและจะสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวผู้มีสุขภาพแข็งแรง ดังนั้นน้ำหนักตัวจะใช้ประมาณความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อได้ในผู้มีสุขภาพแข็งแรงซึ่งจะใช้ได้กับการสำรวจน้ำหนักตัวและน้ำหนักกระเป๋านักเรียนข้างต้น (ไพโรจน์, 2554) ทั้งนี้จะใช้วิธีในการประเมินภาวะโภชนาการของประชากรโดยเฉพาะอย่างยิ่งภาวะน้ำหนักเกินหรืออ้วน โดยการวัดดัชนีมวลกาย

ตามอายุและเพศ (Body mass index, BMI) จากที่มาของปัญหาทำให้ข้อมูลความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อมีความสำคัญมาก ผู้จัดทำจึงได้ทำการวิจัยนี้ขึ้นเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของเด็กประถมศึกษาและเพื่อความรู้ความเข้าใจของผู้ปกครอง นักเรียน สถานศึกษา สถาบันการแพทย์และผู้ที่เกี่ยวข้องต่างๆ เกี่ยวกับความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อและกระดูกของเด็กประถมศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจของผู้ผลิตในการออกแบบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องให้เหมาะสมกับความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อและกระดูกของเด็กประถมศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวัด รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลกำลังสถิตของกล้ามเนื้อของนักเรียน โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. เพื่อประเมินภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนเปรียบเทียบกับความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อ

3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวหรือดัชนีมวลกายตามอายุและเพศ (BMI) และความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. วัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อเด็กชายและเด็กหญิง โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 อายุระหว่าง 6-12 ปี

2. วัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่า คือ กำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขน (arm static strength) กำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่ (shoulder static strength) กำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ (composite static strength) กำลังสถิตของกล้ามเนื้อมือ (grip static strength)

3. ศึกษาแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างในแนวระนาบหน้า-หลัง (Sagittal Plane) ตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อกำหนดภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนโดยอาศัยความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อ

2. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการออกแบบอุปกรณ์ เครื่องใช้ต่างๆ สำหรับเด็กประถมศึกษาให้มี ความเหมาะสมโดยคำนึงถึงกำลังของผู้ใช้

3. เป็นการสร้างฐานข้อมูล ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อของกลุ่มประชากร นักเรียนประถมศึกษาของประเทศไทย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ ต่อวิศวกร สถาปนิก ผู้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับกลุ่มประชากรนักเรียน

4. เพื่อนำไปใช้ประกอบการกำหนดภาระงานสำหรับกิจกรรมของเด็ก

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. ศึกษาการใช้เครื่องมือวัดและกำหนดรายละเอียดการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ

3. วัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อของเด็กชายและเด็กหญิงพร้อมทั้งบันทึกข้อมูล

4. ศึกษาแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆและจากการสะพายกระเป๋านักเรียน

5. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวหรือดัชนีมวลกายตามอายุและเพศ (BMI) และความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อ

6. วิเคราะห์ข้อมูลและประเมินภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียน

7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

8. เผยแพร่ผลงานและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

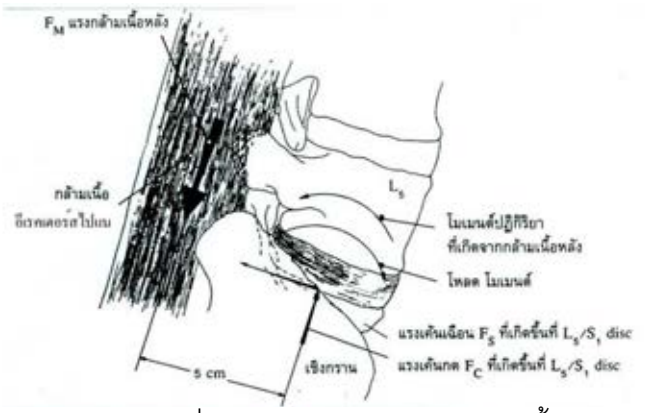
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การคำนวณภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่าง

Ekholm และคณะ,1982 ได้ศึกษาผลภาระที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่าง จากการที่มีโมเมนต์ปริมาณมากเกิดขึ้นที่กระดูกสันหลังของคนขณะยกวัตถุที่มีน้ำหนักมาก ซึ่งแรงที่มากระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง ได้แก่

- แรงที่เกิดจากน้ำหนักตัวที่อยู่เหนือกระดูกสันหลังส่วนล่าง
- แรงที่เกิดจากน้ำหนักวัตถุขณะทำการขนย้าย
- แรงที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อเอกซ์เทนเซอร์ อีเรคเตอร์ สไปแน (Extensor Erector Spinae) ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อหลักที่จะทำหน้าที่ในการเหยียดหลังให้ตรงและมีแนวแรงกระทำที่ระยะห่าง (E) ทางด้านหลังของ L5/S1 Disc ประมาณ 4 เซนติเมตร (Tayyari และ Smith, 1997)



ภาพที่ 2.1 ระยะห่างของแนวแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อเอกซ์เทนเซอร์ อีเรคเตอร์ สไปแน (FM) จากจุดศูนย์กลางของหมอนรองกระดูกสันหลัง L5/S1 (สุทธิ์, 2540)

ขณะที่คนเรายกภาระหนักด้วยมือนั้น ผลกระทบจากการยกวัตถุดังกล่าวจะเกิดขึ้นกับข้อต่อของกระดูกสันหลังตามหลักของการส่งผ่านโมเมนต์ บริเวณที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือกระดูกสันหลังลัมบาร์ สุทธิ์, 2540 เป็นผู้เสนอแนวความคิดว่าควรจะใช้โหลดโมเมนต์ซึ่งเกิดขึ้นที่หมอนรองกระดูกสันหลังที่ข้อต่อกระดูกลัมบาร์ชิ้นที่ 5 กับกระดูกซาครัลชิ้นที่ 1 (Lumbosacral Disc: L5/S1) เป็นพื้นฐานในการกำหนดพิกัดน้ำหนักของวัตถุซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กันที่บุคคลควรจะยกได้อย่างปลอดภัย

สาเหตุที่ข้อต่อ L5/S1 ถูกเลือกให้เป็นจุดที่ใช้คำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นกับกระดูกสันหลังก็เนื่องจากมันเป็นจุดบริเวณซึ่งเกิดโหลดโมเมนต์จากแรงภายนอกที่มีปริมาณมากที่สุด ทั้งนี้เพราะว่าในระหว่างการยกวัตถุที่มีน้ำหนักนั้น โดยการเปรียบเทียบแล้วแขนโมเมนต์ระยะห่างตั้งฉาก ระหว่างวัตถุในมือกับจุด L5/S1 ซึ่งถือว่าเป็นจุดหมุนนั้นมีระยะแขนโมเมนต์ที่มีความยาวมากที่สุดในการพิจารณาตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในการทำงาน

2.2 เกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์

แนวทางชีวกลศาสตร์ ใช้เกณฑ์การคำนวณภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลังในการพิจารณาเพื่อที่จะเปรียบเทียบภาระงานที่กระดูกสันหลังกับเกณฑ์ขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับ (Maximum Acceptable Load, MAL) นั้นเป็นการเอาศาสตร์ทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) เข้ามาเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้สามารถทราบว่า ลักษณะงานที่ทำนั้นเกินค่า MAL หรือไม่ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขหรือปรับปรุงสภาพการทำงานให้เกิดความปลอดภัยมากที่สุด การคำนวณทางชีวกลศาสตร์เพื่อหาแรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นต่อกล้ามเนื้อและกระดูกข้อต่อจากการทำงานนั้นมีอยู่สองแนวทางใหญ่ๆ (ตริฉัตร, 2538) คือ

1. การคำนวณในสภาวะสถิต (Statics)

2. การคำนวณในสภาวะพลวัต (Dynamics)

2.2.1 การศึกษาชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต (Statics)

เป็นการศึกษาในขณะที่ส่วนที่ถูกกระทำนิ่งอยู่กับที่ การวิเคราะห์เชิงสถิต เป็นการคำนวณการรวมและการกระจายของแรง โมเมนต์ และของโมเมนต์บิด ที่ทำให้ส่วนที่ถูกแรงกระทำนั้นอยู่ในภาวะสมดุลสถิต ภาระงานสถิตมีอยู่มากในการทำงานประจำวัน เช่น การยืนถือสิ่งของ การนั่งทำงานหน้าคอมพิวเตอร์ นักวิจัยบางคนยืนยันว่าเราสามารถใช้การวิเคราะห์เชิงสถิตกับภาระงานที่ต้องเคลื่อนไหวช้า ๆ ได้

การคำนวณแรงและโมเมนต์บิดจำเป็นต้องอยู่ในสมมติฐานว่าระบบแรงอยู่ในสมดุลสถิต (Static Equilibrium) ดังนั้น เงื่อนไขข้างล่างนี้ต้องเป็นจริง (Tayyari และ Smith,1997)

$\sum F_X = 0$ (ผลรวมของแรงในแนวนอนแกน X = 0)

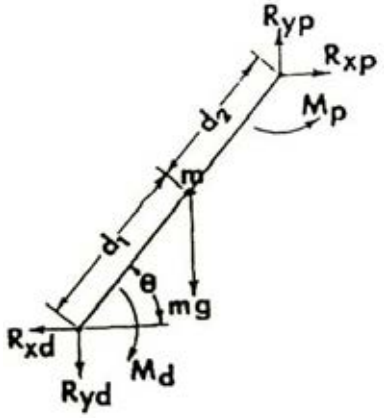
$\sum F_Y = 0$ (ผลรวมของแรงในแนวนอนแกน Y = 0)

$\sum M = 0$ (ผลรวมของโมเมนต์รอบจุดหมุนใดๆ = 0)

ถ้าสมการทั้งสามเป็นจริงก็จะเรียกได้ว่าอยู่ในภาวะสมดุล จะเห็นว่าสมการทั้งสามนี้มิได้รวมพจน์ที่เกี่ยวกับความเร่งเชิงเส้น ความเร่งเชิงมุมและโมเมนต์ความเฉื่อยไว้ ดังนั้นรูปแบบการคำนวณในภาวะสถิต จึงสามารถที่จะใช้ได้ดีกับลักษณะการทำงานที่หยุดอยู่กับที่หรือมีการเคลื่อนไหวช้ามาก ๆ และมีสมมติฐานเพื่อนำรูปแบบการคำนวณไปใช้ดังนี้

1. ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่เรียกว่า Segment
2. Segment แต่ละอันเปรียบเสมือนวัตถุเกร็ง
3. ข้อต่อระหว่าง Segment ทำหน้าที่เหมือนบานพับแบบง่าย
4. มวลของแต่ละ Segment คงที่และกระทำที่จุดศูนย์กลางมวล ในทิศทางตามแนวดิ่ง
5. ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่บนตำแหน่งเดิมบน Segment ตลอดเวลาการเคลื่อนไหว

การคำนวณในภาวะสถิต (Statics)



ภาพที่ 2.2 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะสถิต

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อในแนวแกนนอนคำนวณได้จากสูตร $\sum F_X = 0$

แทนค่าได้ $R_{XP} = R_{XD}$

โดยที่ R_{XP} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal ในแนวแกนนอน

R_{XD} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal ในแนวแกนนอน

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อในแนวแกนนอนคำนวณได้จากสูตร $\sum F_Y = 0$

แทนค่าได้ $R_{YP} = R_{YD} + mg$

โดยที่ R_{YP} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal ในแนวแกนดิ่ง

R_{YD} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal ในแนวแกนดิ่ง

m คือมวลของ Segment ที่กำลังคำนวณ

g คือค่าความเร่งตามแรงดึงดูด ใช้ค่า 9.81 เมตร/วินาที^{2}

การหาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อคำนวณได้จากสูตร $\sum M = 0$

แทนค่าได้ $M_P = M_D - R_{YD}d_1(\cos\theta) + R_{XD}d_1(\sin\theta) - R_{YP}d_2(\cos\theta) + R_{XP}d_2(\sin\theta)$

โดยที่ M_P คือโมเมนต์ปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal

M_D คือโมเมนต์ปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal

θ คือมุมทางขวาของ Segment เทียบกับแกนในแนวนอน

d_1 คือระยะทางจากข้อต่อ Distal ถึง จุดศูนย์กลางมวลของ Segment

d_2 คือระยะทางจากข้อต่อ Proximal ถึงจุดศูนย์กลางมวลของ Segment

2.2.2 การศึกษาชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต (Dynamics)

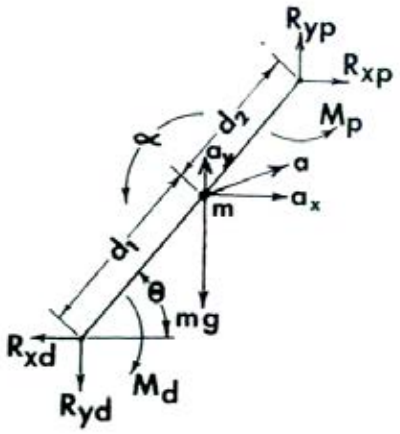
เป็นการศึกษาในขณะที่ส่วนที่ถูกกระทำมีการเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ ในขณะที่ส่วนบนหรือส่วนล่างของร่างกายกำลังเคลื่อนที่เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการทำงาน ตัวอย่างเช่น การเดิน การเข็นรถบรรทุกขนาดเล็ก การแบกหาม การขนส่งสิ่งของด้วยแรงคน เป็นต้น การศึกษาเชิงพลวัตประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. คิเนแมติกส์ (Kinematics) เป็นการศึกษาในส่วนของกลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของส่วนที่ถูกกระทำโดยไม่คำนึงถึงขนาดของแรงที่มากระทำให้เคลื่อนไหว ตัว

แปรคิเนแมติกส์จะเป็นการขจัดที่เป็นเส้นตรง (Linear Displacement) หรือการขจัดที่เป็นมุม (Angular Displacement) ความเร็ว (เมตร / วินาที) และความเร่ง (เมตร / วินาที)

2. คิเนติกส์ (Kinetic) เป็นการศึกษาในส่วนของกลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับแรงที่กระทำต่อส่วนใด ๆ ทำให้ส่วนที่ถูกกระทำนั้นมีการเคลื่อนไหว แรงนี้เป็นได้ทั้งแรงที่กระทำจากภายนอกและแรงที่เกิดจากภายใน ในวิชาชีวกลศาสตร์ แรงภายในคือแรงที่เกิดโดยการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscles) เส้นเอ็น (Ligaments) และข้อต่อ (Joints) ส่วนแรงภายนอกนั้นเป็นแรงจากพื้น (แรงโน้มถ่วง) และจากแหล่งภายนอก (น้ำหนักของวัตถุ แรงต้านของลม น้ำหนักของรถเข็น) ตัวอย่างการวิเคราะห์เชิงคิเนติกส์ เช่น การคำนวณแรงภายนอกกระทำที่ข้อต่อ การประเมินแรงของกล้ามเนื้อที่ใช้เพื่อจะเอาชนะโมเมนต์ภายนอก การคำนวณแรงอัดและแรงเฉือนที่กระทำต่อข้อต่อและการประเมินค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อกล้ามเนื้อทำงานในระดับต่าง ๆ กัน เป็นต้น

การคำนวณในภาวะพลวัต (Dynamics)



ภาพที่ 2.3 ผังวัตถุอิสระของ Segment แต่ละอันในรูปแบบภาวะพลวัต

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อในแนวแกนนอนคำนวณได้จากสูตร $\sum F_X = ma_x$

แทนค่าได้ $R_{XP} = R_{XD} - ma_x$

โดยที่ R_{XP} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal ในแนวแกนนอน

R_{XD} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal ในแนวแกนนอน

m คือมวลของ Segment ที่กำลังคำนวณ

a_x คือความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลในแนวนอน

การหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับข้อต่อในแนวแกนนอนคำนวณได้จากสูตร $\sum F_Y = ma_Y$

แทนค่าได้ $R_{YP} = R_{YD} + mg + ma_Y$

โดยที่ R_{YP} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal ในแนวแกนดิ่ง

R_{YD} คือแรงปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal ในแนวแกนดิ่ง

m คือมวลของ Segment ที่กำลังคำนวณ

g คือค่าความเร่งตามแรงดึงดูด ใช้ค่า 9.81 เมตร/วินาที^{2}

a_Y คือความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลในแนวดิ่ง

การหาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อคำนวณได้จากสูตร $\sum M = I\alpha$

แทนค่าได้ $M_P = M_D + I\alpha - R_{YD}d_1(\cos\theta) + R_{XD}\, d_1(\sin\theta) - R_{YP}d_2(\cos\theta) + R_{XP}d_2(\sin\theta)$

โดยที่ M_P คือโมเมนต์ปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Proximal

M_D คือโมเมนต์ปฏิกิริยาที่กระทำบนข้อต่อ Distal

I คือโมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวลของ Segment

α คืออัตราเร่งเชิงมุมของ θ

θ คือมุมทางขวาของ Segment เทียบกับแกนในแนวนอน

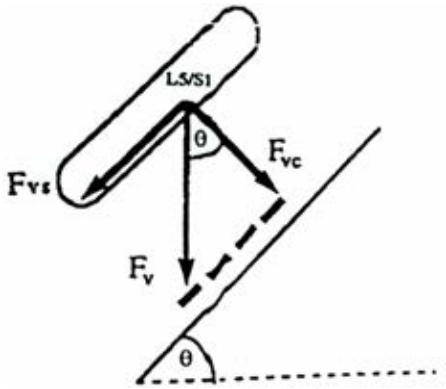
d_1 คือระยะทางจากข้อต่อ Distal ถึง จุดศูนย์กลางมวลของ Segment

d_2 คือระยะทางจากข้อต่อ Proximal ถึงจุดศูนย์กลางมวลของ Segment

2.3 การศึกษาหาค่าแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง

แรงกดอัดที่กระทำบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 ประกอบด้วยแรงที่เกิดจาก 1. แรงกิริยาจากน้ำหนักของร่างกาย น้ำหนักของสิ่งที่ยกและความเร่งในขณะยก กระทำต่อบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง L5/S1 2. แรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง Erector spinae ในขณะทำงานเพื่อให้เกิดการสมดุลย์ของโมเมนต์ (ไพโรจน์, 2542)

2.3.1 การหาแรงกดอัดที่เกิดจากแรงกิริยาที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง



ภาพที่ 2.4 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนตั้งบริเวณ L5/S1

แรงกดอัดที่เกิดจากแรงที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งได้จากแรงกิริยาในแนวแกนตั้งหาได้จากสูตร

$$F_{VC} = F_V(\cos\theta)$$

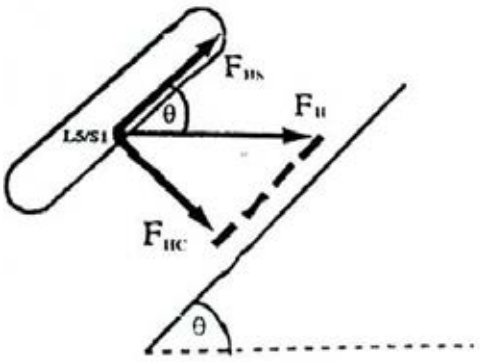
$$F_{VS} = F_V(\sin\theta)$$

โดยที่ F_{VC} คือแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 คำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนตั้ง

F_{VS} คือแรงเฉือนที่กระทำต่อ L5/S1 คำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนตั้ง

F_V คือแรงกิริยาที่กระทำต่อ L5/S1 ในแนวแกนตั้ง

θ คือมุมของ L5/S1 เทียบกับแกนในแนวนอน



ภาพที่ 2.5 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงในแกนนอนบริเวณ L5/S1

แรงกดอัดที่เกิดจากแรงที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งได้จากแรงกิริยาในแนวแกนนอนหาได้จากสูตร

$F_{HC} = F_H(\cos\theta)$

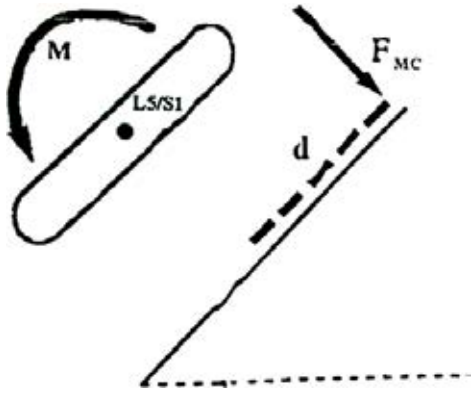
$F_{HS} = F_H(\sin\theta)$

โดยที่ F_{HC} คือแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 คำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนนอน

F_{HS} คือแรงเฉือนที่กระทำต่อ L5/S1 คำนวณได้จากแรงกิริยาในแนวแกนนอน

θ คือแรงกิริยาที่กระทำต่อ L5/S1 ในแนวแกนนอน

2.3.2 การหาแรงกดอัดที่เกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง



ภาพที่ 2.6 ผังวัตถุอิสระหาแรงกดอัดที่ได้จากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง

แรงกดดันที่เกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลังที่กระทำต่อ L5/S1 ได้จากสูตร

$$M = F_{MC} * d$$

โดยที่ F_{MC} คือแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งเกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อหลัง

d คือระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของ L5/S1 กับกล้ามเนื้อหลัง

M คือโมเมนต์ที่กระทำต่อ L5/S1

แรงกดอัดรวมที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง หาได้จากการนำแรงกดอัดทั้งหมดข้างต้นมารวมกันดังสูตร

$$F_C = F_{VC} + F_{HC} + F_{MC}$$

โดยที่ F_C คือแรงกดอัดรวมที่กระทำต่อ L5/S1

2.4 การศึกษาหาแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลังรับได้

แนวทางศึกษาถึงน้ำหนักที่ยอมรับได้ในการยกของโดยวิธีชีวกลศาสตร์คือการเปรียบเทียบภาระงานที่คำนวณได้ที่กระทำต่อกระดูกสันหลังกับเกณฑ์ที่ได้มีผู้วิจัยได้กำหนดไว้ ซึ่งเกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์นี้ ส่วนใหญ่จะกำหนดเป็นแรงกดอัดที่กระทำต่อกระดูกสันหลัง (ตริฉัตร, 2538)

วิธีหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาแรงกดอัดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังก็คือการศึกษาจากศพ โดยการนำกระดูกสันหลังของผู้ตาย ซึ่งเก็บรักษาภายใต้ความเย็น 4 องศาเซลเซียส และได้รับการตรวจสอบจากแพทย์แล้วว่าไม่มีปัญหาการแตกร้าวหรือรอยชำรุดมาก่อน กระดูกสันหลังที่ได้มานี้จะนำไปทดสอบความสามารถสูงสุดในการรับแรงกดอัดนั้น โดยการเพิ่มภาระงานให้กับชิ้นส่วนกระดูกจนกระทั่งกระดูกเกิดการเสียรูป ทั้งนี้ในขณะทดลองจะต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 100% อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เพื่อให้มีสภาพใกล้เคียงกับภายในร่างกายมนุษย์ ค่าภาระงานสุดท้ายที่อ่านได้นี้จะเป็นค่า Compressive strength ของกระดูกสันหลัง (Brickmann และคณะ, 1989)

ตารางที่ 2.1 ค่า Compressive strength ของกระดูกสันหลังที่นักวิจัยท่านอื่นได้ทำการวิจัย (ตริฉัตร, 2538)

นักวิจัย	สมการประมาณค่า CS จากการศึกษากระดูกสันหลังศพ (นิวตัน)
Messerer(1880)	CS = 1908.3 + (299.7*SC)
Sonoda(1962)	CS = 6421.3 + (374.3*SC)
Guzulov et al.(1966)	CS = 6218.1 + (783.0*SC)
Hutton et al.(1979)	CS = 8567.4 -(72.0*อายุ)-(3276.9*เพศ)+(374.0*SC)
Hutton & Adams(1982)	CS = 18512 -(29.3*อายุ)-(3215.5*เพศ)+(539.9*SC)+ (97.0*น้ำหนักร่างกาย)
Adams & Hutton (1982)	CS = -7308.4 -(69.8*อายุ)-(140.7*เพศ)+(280.2*SC)+ (42.4*น้ำหนักร่างกาย)
Hansson et al.(1987)	CS = -13557.0 -(63.1*อายุ)-(454.4*เพศ)+(404.2*SC)+ (54.5*น้ำหนักร่างกาย)
Brinkmann et al.(1988)	CS = -2894.9 -(64.8*อายุ)-(1018.0*เพศ)+(284.7*SC)
Biggermann et al.(1988)	CS = 5719.6-(53.1*อายุ)-(1722.1*เพศ)+(312.1*SC)
Jager & Luttmann(1992)	CS = [10.53 - 0.975 * (อายุ/10)]*1000 สำหรับเพศชาย CS = [7.03 - 0.591 * (อายุ/10)]*1000 สำหรับเพศหญิง
Genaidy et al.(1993)	CS = 7222.41-(1047.71*ช่วงอายุ)-(1279.18*เพศ)+(56.73*เปอร์เซ็นต์ไทล์ประชากร)
หมายเหตุ เพศชาย = 1 เพศหญิง = 2 ค่า SC ของกระดูกแต่ละชิ้น : โดยกระดูกชิ้นที่ L5/S1 มีค่า = 48 *ช่วงอายุ 20-29, 30-39, 40-49 และมากกว่า 50 ปี มีค่าเป็นตัวเลขเชิงคุณภาพ 1,2,3,4 และ 5 ตามลำดับ	

จากแนวคิดเรื่องการหา Compressive Strength (CS) ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่กระดูกสันหลังจะทนได้เมื่อมีภาระงานมา ดังนั้นเพื่อที่จะเป็นการป้องกันอันตรายอันจะเกิดกับกระดูกสันหลังจากภาระงานที่มากระทำ จึงมีการเสนอค่าภาระงานสูงสุดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังในระดับที่สามารถยอมรับได้ (Maximum Acceptable Load: MAL) ซึ่งจากการศึกษาของ Eie, 1966 พบว่าค่า MAL จะอยู่ในช่วงร้อยละ 33 ถึงร้อยละ 93 ของค่า Compressive Strength โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 60 ของค่า Compressive Strength ในขณะที่ Yogonandanและคณะ, 1989 กล่าวว่าค่า MAL ของคนปกติมีค่าประมาณร้อยละ 83 ของ Compressive Stength และ NIOSH, 1994 กล่าวว่า งานที่ทำให้เกิดแรงกดที่ L_5/S_1 Disc ปริมาณมากกว่า 3,400 นิวตันนั้น มีศักยภาพสูงที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อการแตกหักของกระดูกสันหลังต่อผู้ที่ปฏิบัติงานยกย้ายวัสดุบางคนได้ และถ้าแรงกดดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นถึง 6,400 นิวตัน

2.5 การศึกษาหาความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อ

Kroemer และ Grandjean, 1999 กล่าวว่าการประเมินภาระงานกล้ามเนื้อขณะทำงาน ค่าการตอบสนองของกล้ามเนื้อขณะทำงาน ประเมินจากค่าความสามารถในการหดตัวให้แรงสูงสุดของกล้ามเนื้อแต่ละมัด (maximum voluntary contraction: MVC) ค่าเฉลี่ยของแรงการหดตัวของกล้ามเนื้อในงานชนิดที่กล้ามเนื้อต้องเคลื่อนไหว หรือ dynamic เป็นเวลานานนั้นไม่ควรเกินร้อยละ 20 ของค่าความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อ และถ้าเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อในลักษณะอยู่นิ่งกับที่หรือ static ค่าเฉลี่ยแรงการหดตัวของกล้ามเนื้อไม่ควรเกินร้อยละ 15 ของค่า MVC เวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อแบบอยู่นิ่งนั้นแปรผันกับแรงที่กล้ามเนื้อหดตัวแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล การตอบสนองของร่างกายจากการทำงานในท่าซ้ำ ๆ นั้นคล้ายกับการตอบสนองของร่างกายจาการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบอยู่นิ่ง นั่นคือขณะที่กล้ามเนื้อทำงานแบบซ้ำ ๆ (90 – 220 ครั้งของการหดตัว/นาที) ด้วยค่าเฉลี่ยแรงการหดตัวที่มากกว่าร้อยละ 15 ของค่า MVC ความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อก็จะลดลงด้วยเวลาอันรวดเร็ว

การหาค่าความแข็งแกร่งสูงสุดนั้น ไม่สามารถจะทดสอบได้ในคนปกติ ดังนั้นในการทดสอบหาค่าความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อจึงอาศัยวิธีการให้ผู้ถูกทดสอบออกแรงสูงสุดโดยความสมัครใจ (maximum voluntary contraction: MVC) (Kroemer และMarras, 1981)

ค่า MVC ซึ่งเป็นค่าที่กล้ามเนื้อสามารถหดตัวได้มากที่สุดในภาวะสถิตนั้น เป็นสิ่งที่ช่วยในการพยากรณ์ความสามารถในการยกได้เป็นอย่างดี (Kassab และ Drury, 1976)

งานวิจัยของ Nag, 1991 ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของระยะเวลาความทนทานที่กล้ามเนื้อจะสามารถทำงานได้ เทียบกับร้อยละ 30 ร้อยละ 40 และร้อยละ 60 ของค่าสูงสุดกล้ามเนื้อสามารถหดตัวได้โดยสมัครใจ (maximum voluntary contraction: MVC) พบว่าความทนทานของกล้ามเนื้อจะมีค่าลดลงเมื่อการทำงานของกล้ามเนื้อนั้นๆ มีค่าร้อยละของค่า MVC ที่มากขึ้น

2.6 ข้อแนะนำสำหรับงานยกโดยอาศัยแนวทางชีวกลศาสตร์

เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาสำหรับแนวทางสรีรวิทยาก็คือ ปริมาณการบริโภคพลังงาน(Energy Consumption) หรือ ค่า PWC (Physical Work Capacity) ที่ต้องใช้ไปในการทำงานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคน ค่าน้ำหนักที่แนะนำของ NIOSH, 1994 ให้ยกได้ขณะทำงาน

Recommended Weight Limit: RWLประกอบด้วยระยะยก (V) ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 75 ซม. (ท่าย่อเข่ายกขึ้นมาจากพื้น) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าน้ำหนักแนะนำที่ยกได้ขณะทำงานของ NIOSH, 1994

ระยะเวลาการทำงาน	PWC ที่ใช้	Kcal/min
1 ชั่วโมง	50%	4.7
1-2 ชั่วโมง	40%	3.7
2-8 ชั่วโมง	33%	3.1

* หากยกด้วยค่า V >75 ซม.(ท่าก้มโค้งยกขึ้นมาจากพื้น) ค่า PWC ที่ใช้มีปริมาณเกิน 70% ขึ้นไป

คำแนะนำในการยกขององค์การแรงงานระหว่างประเทศ (International Labour Organization : ILO) ในความพยายามที่จะลดปัญหาการบาดเจ็บอันเนื่องมาจากการทำงานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคนได้มีหลายองค์กรที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมพยายามออกกฎคำแนะนำเกี่ยวกับงานยกย้ายวัตถุต่าง ๆ เอาไว้ ได้ออกกำหนดตารางที่ว่าด้วยการทำงานยกย้ายวัสดุสิ่งของด้วยแรงกายคน

ตารางที่ 2.3 คำแนะนำช่วงน้ำหนักที่เหมาะสมในการยกของในแต่ละช่วงอายุของผู้ยกย้ายของ ILO (หน่วยเป็นกิโลกรัม)

ช่วงอายุ (ปี)	เพศชาย	เพศหญิง
14 – 16	15	10
16 – 18	19	12
18 – 20	23	14
20 – 35	25	15
35 – 50	21	13
มากกว่า 50	16	10

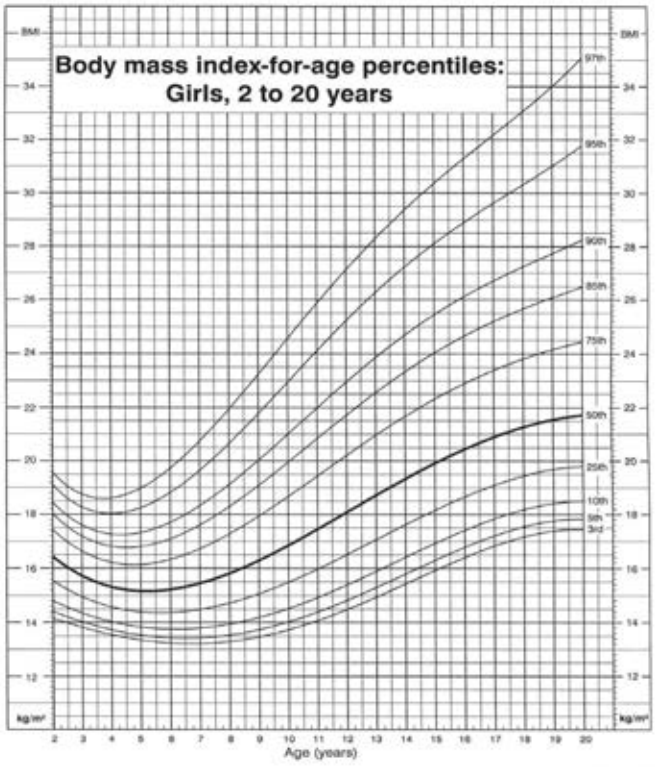
2.7 การประเมินภาวะโภชนาการของประชากร

การวัดดัชนีมวลกาย (BMI : Body mass index) เป็นค่าดัชนีที่คำนวณจากน้ำหนักและส่วนสูง

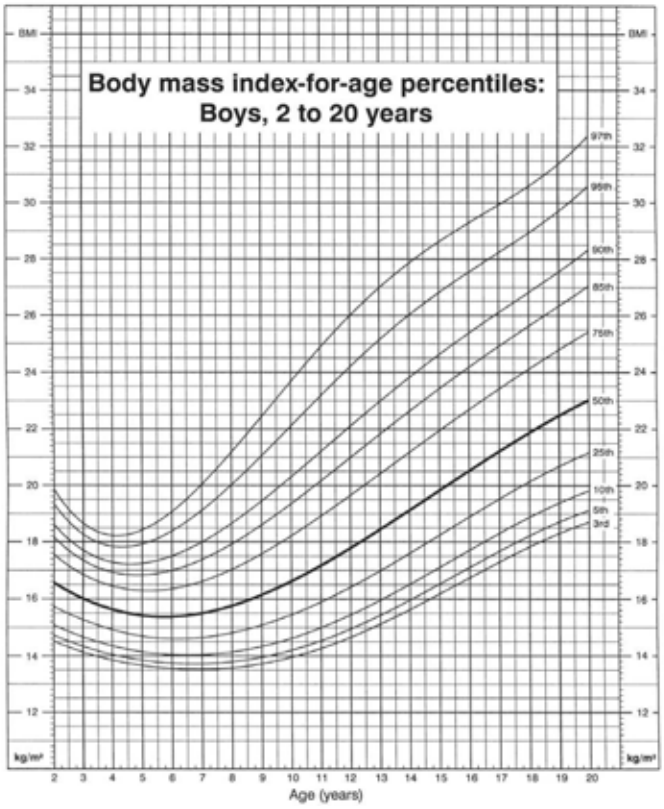
$$BMI = \frac{\text{น้ำหนัก}}{\text{ส่วนสูง}^2}$$

โดยทั่วไปนิยมโดยใช้หน่วยน้ำหนักตัวเป็นกิโลกรัม และส่วนสูงเป็นเมตร จะได้หน่วยเป็น กก./ม.^{2}

ซึ่งในปี พ.ศ. 2543 องค์กร Center for Disease Control (CDC) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้พิมพ์กราฟดัชนีมวลกายตามอายุและเพศ (BMI -for-age and gender) ของทั้งเพศหญิงและชาย (วารสารโภชนบำบัด, 2547) ดังภาพที่ 2.7 และ 2.8 ในการประเมินภาวะโภชนาการสำหรับบุคคลที่อายุต่ำกว่า 20 ปี



ภาพที่ 2.7 กราฟ BMI-For-Age สำหรับเพศหญิง



ภาพที่ 2.8 กราฟ BMI-For-Age สำหรับเพศชาย

ตางรางที่ 2.4 ภาวะทางโภชนาการของเด็กอายุ 2-20 ปีตามค่าเปอร์เซนต์ไทล์ของ BMI -For-Age

ตำแหน่งค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ (Pr Range)	ภาวะทางโภชนาการ
ต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5	น้ำหนักต่ำกว่ามาตรฐาน
อยู่ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ถึง 85	น้ำหนักอยู่ในเกณฑ์ปกติ (รูปร่างสมส่วน)
อยู่ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85 ถึง 95	น้ำหนักเกินกว่ามาตรฐาน
มากกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95	อ้วน

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำงานโดยใช้แรงมากเกินกว่าความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อส่วนที่ทำงานนั้นจะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ การประเมินค่าความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ จะช่วยให้ทราบถึงขีดความสามารถในการทำงานโดยใช้แรงที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย ใช้ออกแบบสร้างเครื่องมือและเครื่องจักรให้เหมาะสมกับความแข็งแกร่งของคนกลุ่มนั้น ๆ และสามารถใช้ออกแบบการทำงาน เพื่อลดการใช้แรงมากเกินความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อส่วนที่ใช้ทำงานได้ ถ้าความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อไม่เพียงพอต่อความหนักของงานจะทำให้เกิดอันตรายได้หลายแบบ เช่น

กล้ามเนื้อส่วนที่ใช้งานฉีกขาด ของที่ยกหรือผลักอยู่นั้นหล่นทับ หรือได้รับอันตรายจากเครื่องจักรและเครื่องมือที่ควบคุมหรือใช้งานในขณะนั้น (Chaffin และ Park, 1973)

สิ่งหนึ่งที่แสดงถึงความสามารถในการทำงานโดยใช้แรงของคนก็คือกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ (Static Muscle Strength) ซึ่งเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในการสร้างแรงหรือกำลังบิดมีขนาดและทิศทาง ดังนั้นกำลังสถิตของกล้ามเนื้อจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์ ถ้าขณะที่กล้ามเนื้อออกแรงทำให้ส่วนของร่างกายเกิดการเคลื่อนไหว แรงที่วัดได้นี้จะเป็นกำลังพลวัตของกล้ามเนื้อ (Dynamic Muscle Strength) (Chaffin อ้างโดย กิตติ, 2531)

(Asmussen และ Heeboll-Nielsen, 1962)ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสถิตของกล้ามเนื้อต่าง ๆ กับอายุ โดยเลือกสุ่มตัวอย่างชาย 360 คน หญิง 250 คน ช่วงอายุระหว่าง 15-60 ปี มาทดสอบพบว่าชายจะมีกำลังสถิตของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นจนถึงอายุ 30 ปี และจะต่ำลงเมื่ออายุมากขึ้น เมื่ออายุ 30 ปี และ 60 ปี จะมีกำลังสถิตของกล้ามเนื้อประมาณ 104 % และ 90 % ของกำลังสถิตของกล้ามเนื้อเมื่ออายุระหว่าง 20-22 ปี ตามลำดับ ส่วนหญิงนั้นจะมีกำลังสถิตของกล้ามเนื้อมากที่สุด เมื่ออายุประมาณ 20 ปี โดยทั่วไปแล้วหญิงจะมีกำลังสถิตของกล้ามเนื้อประมาณ 65% ของชาย และเมื่ออายุ 40 ปี ขึ้นไป หญิงจะมีอัตราการลดลงของกำลังสถิตของกล้ามเนื้อมากกว่าชาย

โดยทั่วไปหญิงจะมีกำลังสถิตของกล้ามเนื้อกว่าชาย ซึ่งประมาณได้ว่าหญิงจะมีกำลังสถิตของกล้ามเนื้อเพียง 2 ใน 3 ของชาย (Roebuck และคณะ, 1975) จากการศึกษาความแตกต่างของกำลังสถิตของกล้ามเนื้อระหว่างกลุ่มคนที่มีอายุต่างกัน พบว่า กำลังสถิตของกล้ามเนื้อจะมีมากเมื่ออายุระหว่าง 20-30 ปี และจะต่ำลงเมื่ออายุมากขึ้น โดยเฉลี่ยคนที่มีอายุ 40 ปี และ 60 ปี จะมีกำลังสถิตของกล้ามเนื้อลดลงประมาณ 5% และ 20% จากกำลังสถิตของกล้ามเนื้อเมื่ออายุประมาณ 20–30 ปี

องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อเทคนิคการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ และเป็นสาเหตุให้ข้อมูลมีความแปรปรวนสูงมีดังนี้คือ ชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ การแนะนำการใช้เครื่องวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อให้แก่ผู้ถูกทดสอบ ท่าทางของผู้ถูกทดสอบ ระหว่างการทดสอบ ช่วงระยะเวลาในการออกแรง ระยะเวลาพักผ่อนระหว่างการทดสอบ และรายงานการทดสอบและการวิเคราะห์ทางสถิติ (Kroemer, 1970) นอกจากนี้ Roebuck และคณะ, 1975 กล่าวถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีดังนี้คือ เครื่องมือวัดทิศทางของแรง เพศ อายุและลักษณะงานประจำของผู้ถูกทดสอบ ท่าทางของผู้ถูกทดสอบระหว่างการทดสอบ

วิธีการออกแรงรวมถึงช่วงระยะเวลาในการออกแรง สิ่งจูงใจผู้ถูกทดสอบและสภาพแวดล้อมขณะทดสอบ

Freivalds และคณะ, 1984 กล่าวว่าการคำนวณทางชีวศาสตร์ในภาวะสถิตนั้นมีข้อเสีย คือ แรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อและกระดูกที่คำนวณได้จะมีค่าต่ำกว่าค่าแรงที่ได้จากภาวะงานจริง ซึ่งเป็นภาวะพลวัตประมาณร้อยละ 40 อย่างไรก็ตามการคำนวณในภาวะพลวัตยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลาย เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านเวลาและเครื่องมือที่ต้องใช้

Potvin และคณะ, 1992 กล่าวว่าการศึกษาทางชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต จะใช้การบันทึกภาพตำแหน่งการเคลื่อนไหวของข้อต่อ ขณะที่มีการเคลื่อนไหวจำเป็นต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์โดยเฉพาะ จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ค่าแรงได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

กิตติ และคณะ, 2531 ได้ทำการวิจัยวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อโดยใช้ผู้เข้าทดสอบหญิงจำนวน 250 คนและชายจำนวน 250 คนที่ประกอบอาชีพในภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย การวัดกำลังสถิตได้ทำการวัด 6 ท่า คือ กำลังสถิตของกล้ามเนื้อหลัง กำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขน กำลังสถิตของกล้ามเนื้อขา กำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่ กำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ กำลังสถิตของกล้ามเนื้อมือ สรุปได้ว่า กำลังสถิตกล้ามเนื้อของประชากรทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกัน และยังพบว่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อในตำแหน่งต่างๆที่ทำการวัด มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือถ้ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อชุดใดสูง ชุดอื่นก็จะสูงตามไปด้วย นอกจากนั้นผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยังแสดงให้เห็นว่า กำลังสถิตของแต่ละท่าที่ใช้กล้ามเนื้อชุดเดียวกัน หรือส่วนใหญ่ชุดเดียวกัน ย่อมมีความสัมพันธ์โดยตรงซึ่งกันและกัน

อำนาจ, 2537 กล่าวว่า จากการศึกษาของกรมแรงงานโดยมุ่งปัจจัยการใช้พลังงานในการยกและน้ำหนักของวัตถุที่ยกในอิริยาบทต่างๆ โดยสรุปว่าขีดจำกัดของน้ำหนักที่ยกเป็นครั้งคราวไม่ควรเกินร้อยละ 50 ของน้ำหนักตัวผู้ยก จากข้อแนะนำที่ 128 ขององค์การแรงงานระหว่างประเทศ ปี 1967 ที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักสูงที่อนุญาตให้คนงานยกได้ ระบุว่าควรกำหนดมาตรการมิให้บุคคลยกน้ำหนักเกิน 55 กิโลกรัม (ซึ่งอนุญาตเฉพาะบุคคลที่ได้รับการฝึกฝนมาเป็นอย่างดีและอยู่ในภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมเท่านั้น) สำหรับน้ำหนักสูงสุดที่อนุญาตให้ผู้หญิงและเด็กยกนั้น ควรกำหนดให้เพียงร้อยละ 50-60 ของน้ำหนักที่ผู้ชายทั่วไปยก

จากหลักการทางด้านสรีรวิทยาและจิตวิทยา องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานของคนเราต่อนาที ต่อ 8 ชั่วโมง หรือ ต่อวันขึ้นกับสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด (maximal aerobic power) ขนาดของกล้ามเนื้อ ตำแหน่ง ลักษณะงาน เช่น ทำงานเป็นช่วงอย่างรวดเร็ว หรือทำงานช้าๆตลอดเวลา สภาพแวดล้อม ความหนักของงานที่เหมาะสมสำหรับการออกแรงทำงานในเวลา 8 ชั่วโมง คือใช้พลังงานร้อยละ 30-40 ของสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด และให้กล้ามเนื้อออกแรงทำงานซ้ำซากในแต่ละวันไม่เกินร้อยละ 40 ของความแข็งแกร่งกล้ามเนื้อสูงสุด รวมทั้งให้ระยะเวลาการหดตัวของกล้ามเนื้อเป็นครึ่งหนึ่งของระยะเวลาการคลายตัว กล่าวคือให้เวลาได้พักกล้ามเนื้อบ้างไม่ใช่ต้องหดตัวเพื่อออกแรงทำงานตลอดเวลา (Wilson และคณะ, 1964)

พงษ์จันทร์ และคณะ , 2549 ทำการประเมินภาระงานกล้ามเนื้อของพนักงานทอผ้าและก่อสร้างชายและหญิง โดยใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ วัดค่าความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อ (MVC) ที่เกี่ยวข้องในการทำงาน จำนวน 4 มัด คือกล้ามเนื้อบ่า กล้ามเนื้อไหล่ กล้ามเนื้องอและเหยียดข้อมือทั้งซ้ายและขวา รวมทั้งสิ้น 8 มัด พบว่ากิจกรรมการทำงานที่กล้ามเนื้อทำงานเกินร้อยละ 15 ของความสามารถสูงสุดในงานก่อสร้างได้แก่ งานที่เฉพาะเจาะจงในหน้าที่ เช่นงานผสมปูน มัดเหล็ก การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่เกี่ยวกับงานก่อสร้าง ส่วนในงานทอผ้า กล้ามเนื้อทำงานมากเกินร้อยละ 15 ของความสามารถสูงสุดในขณะยกย้ายวัตถุ งานซ่อมบำรุง การออกแรง ผลัก ดัน รถเข็น งานทำความสะอาดและบรรจุผลิตภัณฑ์ ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคกล้ามเนื้อจากการทำงาน ทั้งชายและหญิง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ผู้เข้าร่วมทดสอบ

เด็กนักเรียนชายจำนวน 178 คน และเด็กนักเรียนหญิงจำนวน 163 คน อายุระหว่าง 6-12 ปี ซึ่งเป็นนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และได้รับอนุญาตจากผู้ปกครองให้เข้าร่วมงานวิจัย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยประกอบไปด้วย ชุดเครื่องมือวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ (ดังภาพที่ 3.1 และ 3.2) กล้องถ่ายรูปดิจิตอลพร้อมขาตั้งกล้อง (ดังภาพที่ 3.3) โดยเลือกไฟล์ที่ใช้ในการจัดเก็บภาพถ่ายดิจิตอลเป็น JPEG ระยะตั้งกล้อง 3 เมตร ความคมชัด 7 ล้าน และแบบบันทึกการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อ (ดังภาพที่ 3.4)

ภาพที่ 3.1 เครื่องวัดแรงดึง Tension / Compression Load cell Model No.616 พร้อม Digital Display Model PAX-1/8 DIN ANALOG INPUT PANEL METER

ภาพที่ 3.2 เครื่องวัดกำลังกล้ามเนื้อมือ Grip Dynamometer (G100) Biometrics E-LINK H400S Datalink Software version 5.0

ภาพที่ 3.3 กล้องถ่ายรูป CANON DIGITAL IXAS 120 IS

แบบบันทึกการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อชุดต่างๆของเด็กนักเรียน

โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายประถม

ใบบันทึกเลขที่.....

วันเดือนปี...../...../..... ชื่อ .....นามสกุล.....

เพศ..... อายุ.....ปี.....เดือน ชั้นประถมศึกษาปีที่.....เลขที่.....

น้ำหนักตัว.....กก. ส่วนสูง.....ม. ดัชนีมวลกาย BMI = $\frac{\text{น้ำหนัก}}{\text{ส่วนสูง}^2}$ =.....กก./ม.^{2}

ลักษณะกระเป๋า.....น้ำหนักกระเป๋า.....กก.

ลำดับที่	กำลังสถิตของกล้ามเนื้อ	ค่าจากการวัด(กก.)	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	กำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขน		
2	กำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่		
3	กำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ		
4	กำลังสถิตของกล้ามเนื้อมือ		

ภาพที่ 3.4 แบบบันทึกการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อ

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ยื่นหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัยสำหรับผู้ปกครอง (consent form) ดังแสดงในภาคผนวก ก และรับคืนจากอาจารย์ประจำชั้น

2. ตรวจสอบนักเรียนเข้าร่วมการวิจัยและขัดข้องจากหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัยสำหรับผู้ปกครอง (consent form) เลือกวิจัยนักเรียนที่ได้รับการยินยอมให้เข้าร่วมการวิจัยจากผู้ปกครองเท่านั้น

3. ผู้วิจัยตรวจสอบความพร้อมของผู้ถูกวิจัยพร้อมทั้งกรอกข้อมูลพื้นฐานในแบบบันทึก เช่น ชื่อ สกุล น้ำหนักตัว ส่วนสูง ลักษณะกระเป๋า น้ำหนักกระเป๋า เป็นต้น

4. อธิบายวิธีการทดสอบพร้อมทั้งแสดงการทดสอบกำลังสถิตของกล้ามเนื้อตำแหน่งนั้นๆ ให้ผู้ถูกทดสอบเข้าใจและสามารถทดสอบได้ถูกต้อง

5. วัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขน ไหล่ ส่วนต่างๆ และมือ โดยให้ครบทุกท่า

6. ทำการทดสอบถ้าผู้ถูกวิจัยคนใดรู้สึกเจ็บปวดกล้ามเนื้อจะต้องให้หยุดทดสอบทันที

7. การวัดค่ากำลังสถิตแต่ละท่าจะทำซ้ำ 2 ครั้ง และแต่ละครั้งให้พัก 2 นาที เพื่อให้กล้ามเนื้อกลับคืนสู่สภาพปกติ แล้วจึงทำการทดสอบครั้งต่อไป

8. บันทึกภาพโดยใช้การถ่ายภาพดิจิตอลในแต่ละท่าขณะทำการทดลองเพื่อใช้คำนวณแรงกดอัดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง

9. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวหรือดัชนีมวลกายตามอายุและเพศ (BMI) และความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อ

10. คำนวณตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต เพื่อหาแรงกดอัดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆและจากการสะพายกระเป๋านักเรียน

11. ประเมินภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนโดยอาศัยความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อ

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางชีวกลศาสตร์

1. วัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ พร้อมบันทึกภาพดิจิตอล 2 มิติ ขณะทดสอบ

2. เขียนแรงและมุมส่วนของร่างกายที่ใช้ในการคำนวณจากภาพถ่ายดิจิตอล 2 มิติท่าทางการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆในขณะทดสอบ

3. เขียนแรงและมุมส่วนของร่างกายที่ใช้ในการคำนวณจากภาพถ่ายดิจิตอล 2 มิติท่าทางการสะพายกระเป๋านักเรียน

4. คำนวณหาขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้ทดสอบ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล และมวลของส่วนต่างๆของร่างกาย จากเปอร์เซ็นต์มวลของส่วนร่างกาย (%Segmental Weight) และเปอร์เซ็นต์ระยะจุดศูนย์กลางมวลของส่วนร่างกาย (%Segmental Center of Gravity) ของกิตติ, 2548

5. คำนวณแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในแต่ละข้อต่อต่างๆ หาแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆและแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากการสะพายกระเป๋านักเรียนในแนวระนาบหน้า-หลัง (Sagittal plane) ตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตภายใต้สมมติฐานต่อไปนี้

- ศูนย์กลางมวลอยู่คงที่ ไม่เปลี่ยนแปลง และสามารถ แทนตำแหน่งได้ด้วยจุดเดียว
- ร่างกายทั้งสองข้างสมมาตรกัน ซีกซ้าย และซีกขวา จะมีการกระจายของมวลที่เท่ากัน และความยาวของส่วนต่างๆทั้งซ้ายและขวาจะเท่ากัน
- สมมติว่ามวลของส่วนต่างๆของร่างกายและจุดศูนย์กลางมวลของร่างกายเด็กใช้ตารางเดียวกับของผู้ใหญ่

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้สุ่มตัวอย่างนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้รับการยินยอมให้เข้าร่วมการวิจัยจากผู้ปกครองเท่านั้น จำนวน 341 คน เป็นนักเรียนชาย 178 คนและนักเรียนหญิง 163 คน อายุระหว่าง 6 – 12 ปี ซึ่งมีข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการวิจัยดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของน้ำหนัก, ส่วนสูง, น้ำหนักกระเป๋าและ BMI

อายุ (ปี)	จำนวน (ชาย/หญิง)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ส่วนสูง (เซนติเมตร)	น้ำหนักกระเป๋า (กิโลกรัม)	BMI (กก./ม.^{2})
6	36(14/22)	24.03(4.33)	120.08(5.26)	2.34(0.45)	16.60(2.34)
7	72(37/35)	26.55(5.58)	124.38(4.95)	2.92(0.55)	17.03(2.69)
8	59(34/25)	30.20(6.94)	130.17(5.51)	3.26(0.89)	17.71(3.26)
9	56(27/29)	33.61(8.56)	136.49(6.47)	3.79(0.75)	17.87(3.46)
10	67(31/36)	36.87(8.69)	141.72(7.44)	4.02(0.76)	18.23(3.35)
11	34(22/12)	45.89(10.9)	147.81(9.31)	4.51(1.15)	20.86(3.85)
12	17(13/4)	44.22(8.09)	150.50(7.91)	4.85(1.35)	19.50(3.27)

ข้อมูลแสดง ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากตารางข้างต้น พบว่าจำนวนผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นนักเรียนอายุ 7 ปีมากที่สุด และ นักเรียนอายุ 12 ปี มีจำนวนน้อยที่สุด ส่วนสูงและน้ำหนักกระเป๋าของนักเรียนอายุ 12 ปีมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด และนักเรียนอายุ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยจะเห็นได้ว่าเมื่ออายุเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ ในขณะที่น้ำหนักและBMI ของนักเรียนอายุ 11 ปีมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด และนักเรียนอายุ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด สำหรับการประเมินภาวะทางโภชนาการตามอายุและเพศ(BMI) ตามภาพที่ 2.7, 2.8และตารางที่ 2.4 พบว่านักเรียนมากที่สุดคือ ภาวะอยู่ในเกณฑ์ปกติ รองลงมาคือ ภาวะอยู่ในเกณฑ์น้ำหนักเกิน, ภาวะอยู่ในเกณฑ์อ้วนและภาวะอยู่ในเกณฑ์ผอมตามลำดับ

4.1 การทดสอบกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ

การวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อ มี 4 ท่า คือ

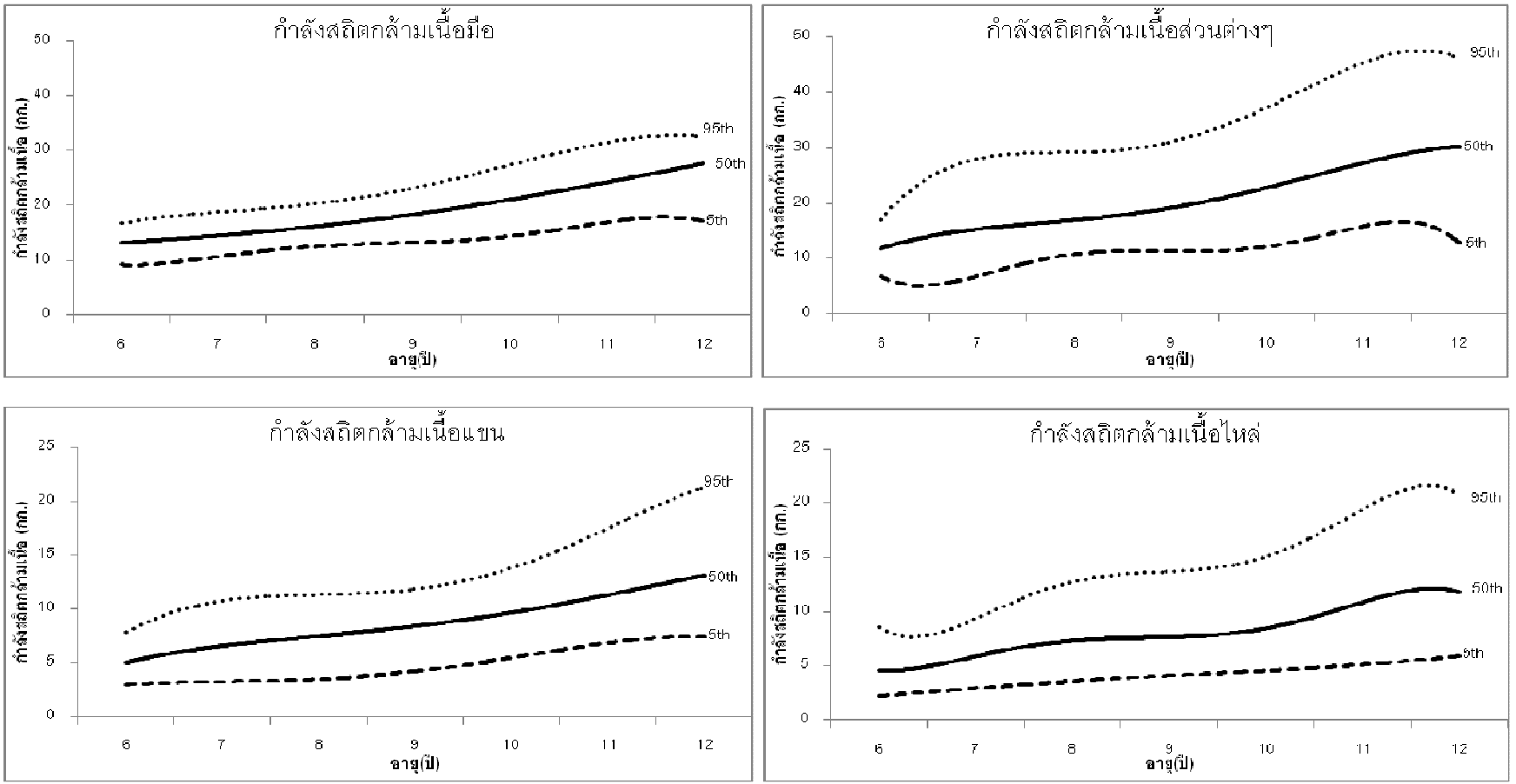
1. กำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ (Grip static strength)
2. กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน (Arm static strength)
3. กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ (Composite static strength)
4. กำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ (Shoulder static strength)

จากการนำข้อมูลกำลังสถิตกล้ามเนื้อของนักเรียนชายและนักเรียนหญิง มาทดสอบ Two -Sample T-Test เพื่อทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยกำลังสถิตของกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าของนักเรียนชายและนักเรียนหญิง ดังแสดงในภาคผนวก ค พบว่ากำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าของนักเรียนชายและนักเรียนหญิงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 จึงทำให้สามารถที่จะรวมข้อมูลของนักเรียนชายและนักเรียนหญิงเข้าด้วยกันได้เพื่อเพิ่มปริมาณกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆและกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่แสดงในตารางที่ 4.2 และการเปรียบเทียบความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อต่อน้ำหนักนักเรียนประถมศึกษาจะเทียบสัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าต่อน้ำหนักตัวของนักเรียนแต่ละบุคคลเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละอายุ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ, กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนและกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่

อายุ (ปี)	กำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ (กิโลกรัม)	กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ (กิโลกรัม)	กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน (กิโลกรัม)	กำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ (กิโลกรัม)
6	13.02(2.39)	12.10(3.85)	5.21(1.51)	5.28(2.05)
7	14.98(2.66)	15.13(5.74)	6.60(2.22)	5.97(2.23)
8	16.11(2.45)	19.36(7.41)	7.71(2.50)	7.79(2.71)
9	17.31(2.57)	19.82(6.08)	8.40(2.21)	7.60(3.18)
10	22.54(4.96)	22.93(7.60)	9.73(2.87)	9.36(2.91)
11	23.26(5.05)	28.74(9.98)	11.66(3.45)	11.07(4.75)
12	26.87(5.12)	30.91(10.17)	13.94(4.73)	12.52(5.54)

ข้อมูลแสดง ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

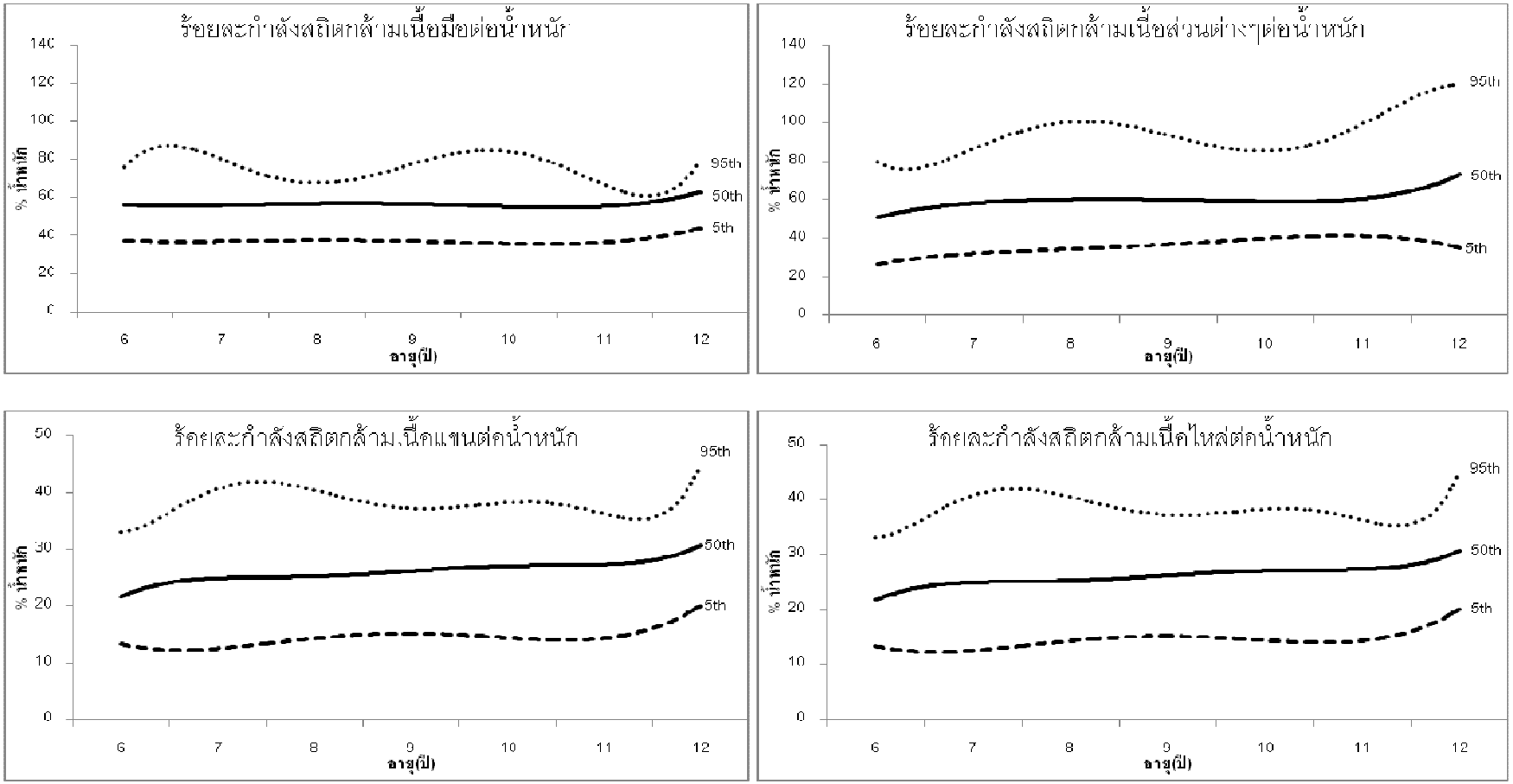


ภาพที่ 4.1 เปอร์เซนไทล์ที่ 5, 50และ95 ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าของนักเรียนประถมศึกษาอายุระหว่าง 6-12 ปี

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของสัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือต่อน้ำหนัก, ร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆต่อน้ำหนัก, ร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนต่อน้ำหนักและร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ต่อน้ำหนัก

อายุ (ปี)	ร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือต่อน้ำหนักตัว	ร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆต่อน้ำหนักตัว	ร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนต่อน้ำหนักตัว	ร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ต่อน้ำหนักตัว
6	55.34(11.69)	51.13(16.11)	21.95(6.21)	22.08(8.05)
7	58.07(12.53)	56.90(17.43)	25.29(8.34)	22.62(7.48)
8	55.10(11.13)	65.40(23.93)	26.12(8.46)	26.33(9.42)
9	53.78(12.26)	60.24(16.9)	25.83(7.78)	22.91(8.74)
10	63.07(16.01)	62.83(17.72)	26.90(7.54)	25.92(7.69)
11	51.98(9.97)	63.11(18.43)	26.20(8.17)	24.57(9.72)
12	61.69(11.5)	71.08(24.84)	31.66(9.72)	28.63(12.12)

ข้อมูลแสดง ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)



ภาพที่ 4.2 เปอร์เซนไทล์ที่ 5, 50และ95 ของสัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าต่อน้ำหนักของนักเรียนประถมศึกษาอายุระหว่าง 6-12 ปี

จากตารางที่ 4.2 กำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ, กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนและกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ของนักเรียนอายุ 12 ปี มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด และนักเรียนอายุ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด โดยจะเห็นได้ว่าเมื่ออายุเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ ท่าที่ให้ค่าเฉลี่ยกำลังสถิตสูงที่สุดคือกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ รองลงมาคือกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนและกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ตามลำดับ กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด และกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด กำลังสถิตกล้ามเนื้อมือกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใกล้เคียงกัน

จากตารางที่ 4.3 สัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือต่อน้ำหนักของนักเรียนอายุ 10 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สุด และนักเรียนอายุ 11 ปี มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด ในขณะที่สัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆต่อน้ำหนักมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด นักเรียนอายุ 12 ปี มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด และนักเรียนอายุ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด ส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนต่อน้ำหนักมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด นักเรียนอายุ 12 ปี มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด และนักเรียนอายุ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด ค่าเฉลี่ยจะใกล้เคียงกันมากในอายุ 7, 8, 9, 10 และ 11 ปี ในขณะที่สัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ต่อน้ำหนักของนักเรียนอายุ 12 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด และนักเรียนอายุ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด ค่าเฉลี่ยจะใกล้เคียงกันมากในอายุ 6, 7 และ 9 ปี โดยจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าต่อน้ำหนักไม่เพิ่มขึ้นตามอายุ

4.2 การทดสอบค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์

การทดสอบค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน, กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ, กำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูงและBMIของนักเรียนประถมศึกษาในแต่ละอายุนั้น เพื่อต้องการศึกษาความสัมพันธ์ในแต่ละข้อมูลดังกล่าวว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใดและมีความสัมพันธ์ในลักษณะใด ดังแสดงในตารางที่ 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

สำหรับการพิจารณาค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ในการบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ หากค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย โดยทั่วไปอาจใช้เกณฑ์ดังนี้ (พิศิษฐ์, 2543)

ค่า r	ระดับของความสัมพันธ์
0.90 - 1.00	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
0.70 - 0.90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
0.50 - 0.70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
0.30 - 0.50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
0.00 - 0.30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

เครื่องหมาย +,- หน้าตัวเลขสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ จะบอกถึงทิศทางของความสัมพันธ์ โดยที่หาก r มีเครื่องหมาย + หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง อีกตัวหนึ่งจะมีค่าสูงไปด้วย)

r มีเครื่องหมาย - หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง ตัวแปรอีกตัวหนึ่งจะมีค่าต่ำ)

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์และค่า p-valueระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, แขน, ส่วนต่างๆ, ไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูงและ BMI ของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 6 ปี

		กำลังสถิตกล้ามเนื้อ				น้ำหนัก	ส่วนสูง	BMI
		มือ	แขน	ส่วนต่างๆ	ไหล่			
กำลังสถิตกล้ามเนื้อ	มือ	1.000						
	แขน	0.389 (0.019)	1.000					
	ส่วนต่างๆ	0.411 (0.013)	0.551 (0.001)	1.000				
	ไหล่	-0.059 (0.734)	0.433 (0.008)	0.283 (0.094)	1.000			
น้ำหนัก		0.285 (0.092)	0.043 (0.040)	0.275 (0.105)	0.376 (0.024)	1.000		
ส่วนสูง		0.228 (0.182)	0.353 (0.034)	0.170 (0.323)	0.263 (0.122)	0.636 (0.001)	1.000	
BMI		0.197 (0.234)	0.145 (0.229)	0.288 (0.165)	0.272 (0.062)	0.858 (0.001)	0.222 (0.258)	1.000

ข้อมูลแสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์(ค่า p-value)

ตัวหนาและเอียงคือค่าr ระหว่าง 0.50 – 0.70 มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง

ตัวหนา, เอียงและขีดเส้นใต้ คือค่าr ระหว่าง 0.70 – 0.90 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

จากตารางข้างต้น พบว่านักเรียนประถมศึกษาอายุ 6 ปี กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน น้ำหนักมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับส่วนสูงและน้ำหนักมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงกับBMI ในขณะที่กำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่ามีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยกับน้ำหนัก, ส่วนสูงและBMI

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์และค่า p-valueระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, แขน, ส่วนต่างๆ, ไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูงและ BMI ของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 7 ปี

		กำลังสถิตกล้ามเนื้อ				น้ำหนัก	ส่วนสูง	BMI
		มือ	แขน	ส่วนต่างๆ	ไหล่			
กำลังสถิตกล้ามเนื้อ	มือ	1.000						
	แขน	0.391 (0.001)	1.000					
	ส่วนต่างๆ	0.334 (0.004)	0.435 (0.001)	1.000				
	ไหล่	0.487 (0.001)	***0.631*** (0.001)	***0.639*** (0.001)	1.000			
น้ำหนัก		0.412 (0.001)	0.353 (0.002)	***0.545*** (0.001)	0.463 (0.001)	1.000		
ส่วนสูง		0.306 (0.009)	0.411 (0.001)	0.499 (0.001)	0.415 (0.001)	***0.740*** (0.001)	1.000	
BMI		0.414 (0.001)	0.271 (0.028)	0.406 (0.001)	0.421 (0.001)	***0.836*** (0.001)	0.367 (0.001)	1.000

ข้อมูลแสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์(ค่า p-value)

ตัวหนาและเอียงคือค่าr ระหว่าง 0.50 – 0.70 มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง

ตัวหนา, เอียงและขีดเส้นใต้ คือค่าr ระหว่าง 0.70 – 0.90 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

จากตารางข้างต้น พบว่านักเรียนประถมศึกษาอายุ 7 ปี กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับน้ำหนัก น้ำหนักมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงกับส่วนสูงและน้ำหนักมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงกับBMI ในขณะที่กำลังสถิตกล้ามเนื้อท่าอื่นๆมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยกับน้ำหนัก, ส่วนสูงและBMI

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์และค่า p-valueระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, แขน, ส่วนต่างๆ, ไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูงและ BMI ของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 8 ปี

		กำลังสถิตกล้ามเนื้อ				น้ำหนัก	ส่วนสูง	BMI
		มือ	แขน	ส่วนต่างๆ	ไหล่			
กำลังสถิตกล้ามเนื้อ	มือ	1.000						
	แขน	0.304 (0.019)	1.000					
	ส่วนต่างๆ	0.399 (0.002)	0.355 (0.006)	1.000				
	ไหล่	0.296 (0.023)	0.455 (0.001)	***0.503*** (0.001)	1.000			
น้ำหนัก		0.359 (0.005)	0.277 (0.033)	0.278 (0.033)	0.329 (0.011)	1.000		
ส่วนสูง		0.228 (0.083)	0.353 (0.006)	0.145 (0.269)	0.146 (0.271)	***0.627*** (0.001)	1.000	
BMI		0.185 (0.011)	0.113 (0.162)	0.266 (0.036)	0.299 (0.012)	***<u>0.864</u>*** (0.001)	0.312 (0.022)	1.000

ข้อมูลแสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์(ค่า p-value)

ตัวหนาและเอียงคือค่าr ระหว่าง 0.50 – 0.70 มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง

ตัวหนา, เอียงและขีดเส้นใต้ คือค่าr ระหว่าง 0.70 – 0.90 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

จากตารางข้างต้น พบว่านักเรียนประถมศึกษาอายุ 8 ปี กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ น้ำหนักมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับส่วนสูงและน้ำหนักมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงกับBMI ในขณะที่กำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่ามีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยกับน้ำหนัก, ส่วนสูงและBMI

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์และค่า p-valueระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, แขน, ส่วนต่างๆ, ไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูงและBMIของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 9 ปี

		กำลังสถิตกล้ามเนื้อ				น้ำหนัก	ส่วนสูง	BMI
		มือ	แขน	ส่วนต่างๆ	ไหล่			
กำลังสถิตกล้ามเนื้อ	มือ	1.000						
	แขน	0.067 (0.623)	1.000					
	ส่วนต่างๆ	0.338 (0.011)	0.350 (0.008)	1.000				
	ไหล่	0.424 (0.001)	0.360 (0.006)	***0.522*** (0.001)	1.000			
น้ำหนัก		0.266 (0.047)	0.350 (0.008)	0.491 (0.001)	0.445 (0.001)	1.000		
ส่วนสูง		0.283 (0.034)	0.228 (0.091)	0.277 (0.039)	0.246 (0.068)	***0.695*** (0.001)	1.000	
BMI		0.243 (0.017)	0.271 (0.009)	***0.508*** (0.001)	0.424 (0.001)	***<u>0.839</u>*** (0.001)	0.367 (0.002)	1.000

ข้อมูลแสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์(ค่า p-value)

ตัวหนาและเอียงคือค่าr ระหว่าง 0.50 – 0.70 มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง

ตัวหนา, เอียงและขีดเส้นใต้ คือค่าr ระหว่าง 0.70 – 0.90 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

จากตารางข้างต้น พบว่านักเรียนประถมศึกษาอายุ 9 ปี กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับBMI น้ำหนักมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับส่วนสูงและน้ำหนักมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงกับBMI ในขณะที่กำลังสถิตกล้ามเนื้อท่าอื่นๆมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยกับน้ำหนัก, ส่วนสูงและBMI

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์และค่า p-valueระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, แขน, ส่วนต่างๆ, ไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูงและBMIของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 10 ปี

		กำลังสถิตกล้ามเนื้อ				น้ำหนัก	ส่วนสูง	BMI
		มือ	แขน	ส่วนต่างๆ	ไหล่			
กำลังสถิตกล้ามเนื้อ	มือ	1.000						
	แขน	0.358 (0.003)	1.000					
	ส่วนต่างๆ	***0.510*** (0.001)	0.412 (0.001)	1.000				
	ไหล่	0.341 (0.005)	0.394 (0.001)	0.421 (0.001)	1.000			
น้ำหนัก		0.327 (0.007)	0.483 (0.001)	***0.562*** (0.001)	0.379 (0.002)	1.000		
ส่วนสูง		***0.559*** (0.001)	0.177 (0.152)	0.461 (0.001)	0.220 (0.073)	***0.592*** (0.001)	1.000	
BMI		0.083 (0.377)	0.422 (0.001)	0.333 (0.001)	0.205 (0.004)	***0.810*** (0.001)	0.166 (0.086)	1.000

ข้อมูลแสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์(ค่า p-value)

ตัวหนาและเอียงคือค่าr ระหว่าง 0.50 – 0.70 มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง

ตัวหนา, เอียงและขีดเส้นใต้ คือค่าr ระหว่าง 0.70 – 0.90 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

จากตารางข้างต้น พบว่านักเรียนประถมศึกษาอายุ 10 ปี กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับน้ำหนัก กำลังสถิตกล้ามเนื้อมือมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับส่วนสูง น้ำหนักมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับส่วนสูงและน้ำหนักมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงกับBMI ในขณะที่กำลังสถิตกล้ามเนื้อท่าอื่นๆมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยกับน้ำหนัก, ส่วนสูงและBMI

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์และค่า p-valueระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, แขน, ส่วนต่างๆ, ไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูงและBMIของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 11 ปี

		กำลังสถิตกล้ามเนื้อ				น้ำหนัก	ส่วนสูง	BMI
		มือ	แขน	ส่วนต่างๆ	ไหล่			
กำลังสถิตกล้ามเนื้อ	มือ	1.000						
	แขน	0.358 (0.038)	1.000					
	ส่วนต่างๆ	0.450 (0.008)	***0.516*** (0.002)	1.000				
	ไหล่	0.477 (0.004)	***0.655*** (0.001)	***0.517*** (0.002)	1.000			
น้ำหนัก		***0.605*** (0.001)	0.270 (0.123)	***0.544*** (0.001)	0.368 (0.032)	1.000		
ส่วนสูง		***0.633*** (0.001)	0.439 (0.009)	0.407 (0.017)	0.294 (0.092)	***0.638*** (0.001)	1.000	
BMI		0.232 (0.072)	-0.057 (0.688)	0.311 (0.009)	0.197 (0.129)	***0.737*** *(0.001)*	0.076 (0.435)	1.000

ข้อมูลแสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์(ค่า p-value)

ตัวหนาและเอียงคือค่าr ระหว่าง 0.50 – 0.70 มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง

ตัวหนา, เอียงและขีดเส้นใต้ คือค่าr ระหว่าง 0.70 – 0.90 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

จากตารางข้างต้น พบว่านักเรียนประถมศึกษาอายุ 11 ปี กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ กำลังสถิตกล้ามเนื้อมือมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับน้ำหนัก กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับน้ำหนัก กำลังสถิตกล้ามเนื้อมือมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับส่วนสูง น้ำหนักมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับส่วนสูงและน้ำหนักมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงกับBMI ในขณะที่กำลังกำลังสถิตกล้ามเนื้อท่าอื่นๆมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยกับน้ำหนัก, ส่วนสูงและBMI

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์และค่า p-valueระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, แขน, ส่วนต่างๆ, ไหล่, น้ำหนัก, ส่วนสูงและBMIของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 12 ปี

		กำลังสถิตกล้ามเนื้อ				น้ำหนัก	ส่วนสูง	BMI
		มือ	แขน	ส่วนต่างๆ	ไหล่			
กำลังสถิตกล้ามเนื้อ	มือ	1.000						
	แขน	***0.583*** (0.014)	1.000					
	ส่วนต่างๆ	***0.532*** (0.028)	***<u>0.861</u>*** (0.001)	1.000				
	ไหล่	0.408 (0.104)	***0.673*** (0.003)	***0.505*** (0.039)	1.000			
น้ำหนัก		0.395 (0.116)	0.423 (0.090)	0.238 (0.358)	0.221 (0.394)	1.000		
ส่วนสูง		0.481 (0.051)	***0.628*** (0.007)	0.443 (0.075)	0.422 (0.092)	0.475 (0.054)	1.000	
BMI		-0.036 (0.469)	0.092 (0.659)	-0.021 (0.914)	-0.007 (0.975)	***<u>0.713</u>*** (0.001)	-0.124 (0.751)	1.000

ข้อมูลแสดงค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์(ค่า p-value)

ตัวหนาและเอียงคือค่าr ระหว่าง 0.50 – 0.70 มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง

ตัวหนา, เอียงและขีดเส้นใต้ คือค่าr ระหว่าง 0.70 – 0.90 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

จากตารางข้างต้น พบว่านักเรียนประถมศึกษาอายุ 12 ปี กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ กำลังสถิตกล้ามเนื้อมือมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนมีความสัมพันธ์ปานกลางกับส่วนสูง และน้ำหนักมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงกับBMI ในขณะที่กำลังสถิตกล้ามเนื้อท่าอื่นๆมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยกับน้ำหนัก, ส่วนสูงและBMI

4.3 แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง

4.3.1 แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100%กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ

การประเมินภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตนั้นจะใช้ค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างเปรียบเทียบกับความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อนักเรียนแต่ละบุคคลเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละอายุ โดยจากการทดสอบกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่า พบว่ากำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆเป็นท่าที่ให้ค่าสูงสุดของนักเรียนประถมศึกษาทั้ง 341 คน จากนั้นนำท่าทางขณะทดสอบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ และค่ากำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆของนักเรียนแต่ละคนคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง ดังภาคผนวก จ ซึ่งจะได้ค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆของนักเรียนประถมศึกษาทั้ง 341 คน ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ

อายุ (ปี)	ค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)(นิวตัน)	ค่าต่ำสุด (นิวตัน)	ค่าสูงสุด (นิวตัน)
6	1522.13(471.28)	826.72	2929.45
7	1901.32(655.76)	585.82	4647.10
8	2350.83(836.51)	1117.81	4816.69
9	2786.98(917.00)	1362.68	5478.43
10	3197.87(1007.89)	1547.93	7235.79
11	4680.30(1766.14)	2036.15	8897.47
12	5371.07(2228.90)	2435.87	9219.79

จากตารางข้างต้น พบว่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100%ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆของนักเรียนอายุ 12 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด และนักเรียนอายุ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยจะเห็นได้ว่าเมื่ออายุเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ ค่าสูงสุดแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างของนักเรียนที่มีค่าสูงเช่นนั้นเนื่องจากปัจจัยหลัก 3 อย่างที่มีค่าสูงมากในการคำนวณ คือ 1. ค่ากำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ

นักเรียนมีค่าสูงที่สุด 2. นักเรียนมีน้ำหนักตัวมาก 3. ขนาดความยาวของสัดส่วนร่างกาย เช่น แขนส่วนล่าง แขนส่วนบนและลำตัว โดยยังมีปัจจัยอื่นๆเช่น มุมส่วนของร่างกายขณะทดสอบ เป็นต้น

4.3.2 แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียน

การคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนดังตารางที่ 4.12 เพื่อประเมินภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต ซึ่งจะใช้น้ำหนักกระเป๋านักเรียนและภาพถ่ายด้านข้างของท่าทางการสะพายกระเป๋านักเรียนโดยใช้ไหล่ทั้งสองข้าง คำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างดังภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียน

อายุ (ปี)	ค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)(นิวตัน)	ค่าต่ำสุด (นิวตัน)	ค่าสูงสุด (นิวตัน)
6	255.58(39.61)	166.40	348.85
7	298.68(49.76)	212.85	445.52
8	337.80(64.19)	239.21	487.48
9	382.00(72.61)	219.07	564.15
10	410.75(73.30)	232.28	655.18
11	495.49(84.47)	324.92	703.83
12	501.83(78.42)	348.86	623.55

จากตารางข้างต้น พบว่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนของนักเรียนอายุ 12 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด และนักเรียนอายุ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยจะเห็นได้ว่าเมื่ออายุเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสูงสุดก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ

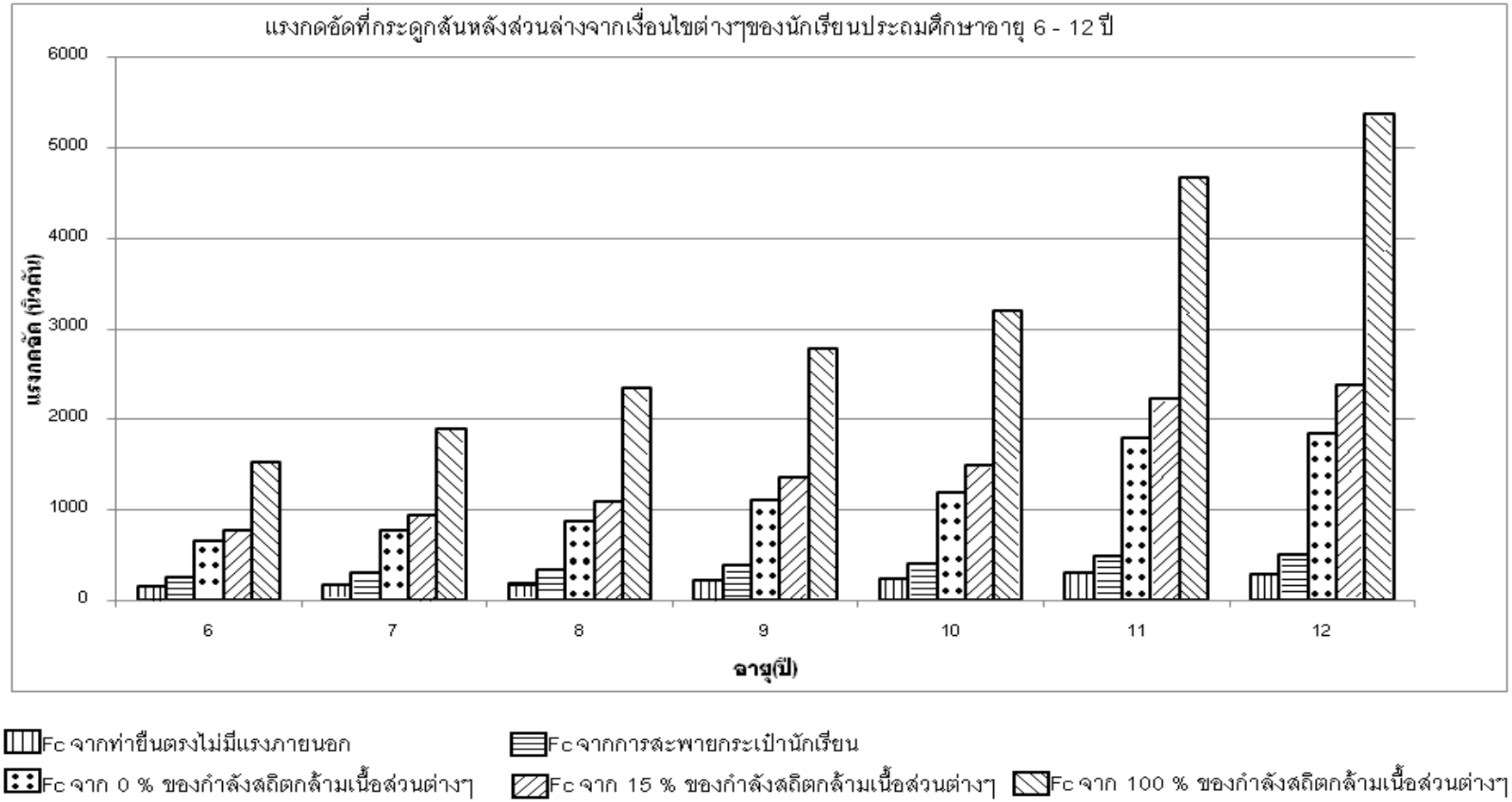
4.4 การเปรียบเทียบแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากการสะพายกระเป๋านักเรียนกับแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่าง ๆ

การประเมินภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตนั้น ในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างที่คำนวณ (Fc) จากการสะพายกระเป๋านักเรียนกับแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไข ดังต่อไปนี้ 1.Fc จากท่ายืนตรงไม่มีแรงภายนอก เงื่อนไขนี้เป็นภาระงานค่อนข้างเบาในการทำกิจกรรมทั่วไปซึ่งคำนวณแรงกดอัดจากการยืนโดยไม่มีการแบกสิ่งใด(without load) 2. Fc จาก 0%ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ เงื่อนไขนี้เป็นภาระงานปานกลางในการทำกิจกรรมทั่วไปซึ่งคำนวณแรงกดอัดจาก 0% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆหรือคำนวณจากท่าทางขณะทดสอบกำลังสถิตกล้ามเนื้อสูงสุด โดยไม่ออกแรงดึงที่ด้ามทดสอบกำลังสถิตกล้ามเนื้อเพื่อแสดงให้เห็นว่าท่าทางขณะทดสอบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆโดยไม่ออกแรงดึงนั้นส่งผลต่อแรงกดอัดมากน้อยเพียงใด 3. Fc จาก 15% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ หากกำหนดให้เงื่อนไขนี้เป็นภาระงานระดับที่ปลอดภัยในการทำกิจกรรมทั่วไปซึ่งคำนวณแรงกดอัดจาก 15% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อสูงสุดตามการประเมินภาระงานของกล้ามเนื้อขณะทำงานของ Kroemer และ Grandjean, 1999 ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆ (หน่วย:นิวตัน)

อายุ (ปี)	Fc จากท่ายืนตรงไม่มีแรงภายนอก	Fc จากการสะพายกระเป๋านักเรียน	Fc จาก0% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ	Fc จาก15%ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ	Fc จาก100% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ
6	152.47 (30.57)	255.58 (39.61)	648.55 (230.03)	779.59 (257.05)	1522.13 (471.28)
7	169.79 (36.98)	298.68 (49.76)	777.87 (273.89)	946.39 (317.84)	1901.32 (655.76)
8	193.94 (45.49)	337.80 (64.19)	872.62 (355.43)	1094.35 (404.17)	2350.83 (836.51)
9	214.79 (57.92)	382.00 (72.61)	1104.57 (457.79)	1356.93 (513.26)	2786.98 (917.00)
10	235.25 (58.34)	410.75 (73.30)	1191.56 (426.79)	1492.50 (494.01)	3197.87 (1007.89)
11	296.51 (72.95)	495.49 (84.47)	1798.61 (666.67)	2230.86 (802.36)	4680.30 (1766.14)
12	287.90 (52.93)	501.83 (78.42)	1850.77 (695.40)	2378.81 (891.18)	5371.07 (2228.90)

ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)



ภาพที่ 4.3 แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆของนักเรียนประถมศึกษาอายุ 6 -12 ปี

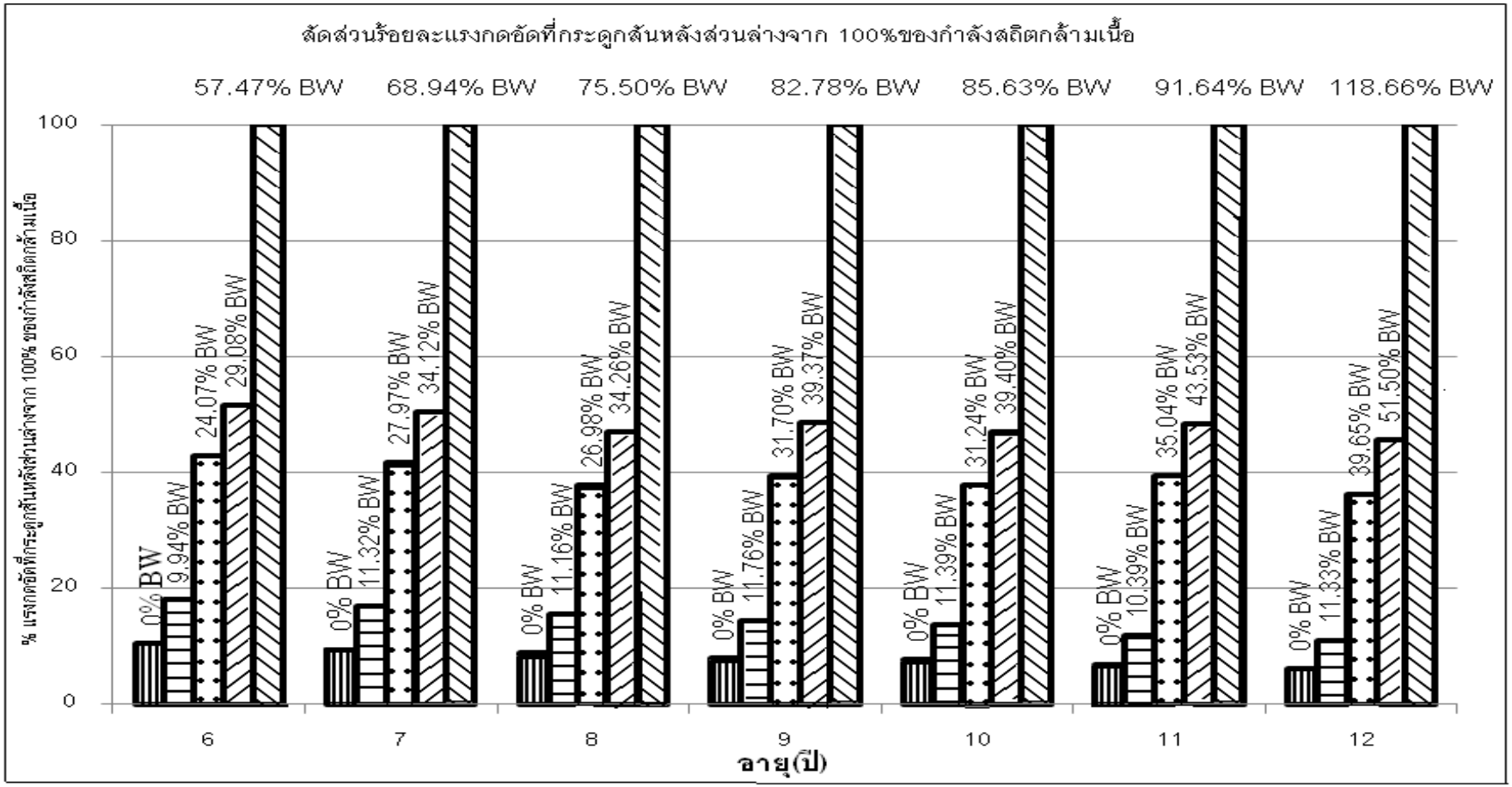
จากตารางที่ 4.13 พบว่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆของนักเรียนอายุ 12 ปี มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด นักเรียนอายุ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด โดยจะเห็นได้ว่าเมื่ออายุเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ จากภาพที่ 4.3 แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 15% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ, แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 0% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ, แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนและแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากท่ายืนตรงไม่มีแรงภายนอกตามลำดับ ตารางที่ 4.14 เป็นการนำแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆของนักเรียนอายุ 6-12 ปี ที่ได้จากตารางที่ 4.13 คำนวณหาสัดส่วนร้อยละแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆต่อแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100%ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของนักเรียนในแต่ละอายุ เพื่อเปรียบเทียบและประเมินแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆกับแรงกดอัดจากความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อสูงสุดแต่ละอายุ

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของสัดส่วนร้อยละแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆต่อแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100%ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ

อายุ (ปี)	Fc จากท่ายืนตรงไม่มีแรงภายนอก	Fc จากการสะพายกระเป๋านักเรียน	Fc จาก 0% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ	Fc จาก 15% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ
6	10.57 (2.68)	18.00 (5.22)	42.98 (9.02)	51.53 (7.67)
7	9.44 (2.13)	16.95 (4.77)	41.74 (8.42)	50.48 (7.16)
8	8.84 (2.36)	15.51 (4.12)	37.75 (8.83)	47.09 (7.50)
9	8.00 (1.58)	14.52 (3.23)	39.48 (7.66)	48.56 (6.51)
10	7.71 (1.78)	13.78 (3.98)	37.80 (7.76)	47.13 (6.60)
11	6.85 (1.86)	11.86 (4.16)	39.43 (8.70)	48.52 (7.40)
12	6.23 (2.67)	10.94 (4.75)	36.19 (9.02)	45.76 (7.67)

ข้อมูลแสดง ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากตารางข้างต้น พบว่าร้อยละแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆของนักเรียนอายุ 12 ปีมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด นักเรียนอายุ 6 ปีมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด ร้อยละแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 15%ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 0%ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ, แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนและแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากท่ายืนตรงไม่มีแรงภายนอก โดยจะเห็นได้ชัดว่าเมื่ออายุเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยร้อยละแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆมีค่าลดลงตามลำดับ



ภาพที่ 4.4 สัดส่วนร้อยละแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆของนักเรียนประถมศึกษาอายุระหว่าง 6-12 ปี

ภาพข้างต้น เป็นการนำเสนอแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆของนักเรียนอายุ 6-12 ปี พร้อมทั้งแสดงค่าสัดส่วนร้อยละน้ำหนักกระเป๋าต่อน้ำหนักตัว พบว่าในทุกอายุมีลักษณะกราฟแท่งที่คล้ายกัน คือแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากท่ายืนตรงไม่มีแรงภายนอกน้อยกว่าร้อยละ 10 หรือคิดเป็น 1 ใน 10 ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100%ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ในขณะที่แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนน้อยกว่าร้อยละ 20 หรือคิดเป็น 1 ใน 5 ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100%ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 0% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆน้อยกว่าร้อยละ 40 หรือคิดเป็น 1ใน 3 ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ, แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 15% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆน้อยกว่าร้อยละ 50 หรือคิดเป็น 1 ใน 2 ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ

งานวิจัยนี้ได้คำนวณสัดส่วนร้อยละน้ำหนักกระเป๋าต่อน้ำหนักตัว(% BW)ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆของนักเรียนประถมศึกษา เพื่อประเมินแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆโดยเปรียบเทียบร้อยละน้ำหนักกระเป๋าต่อน้ำหนักตัว ซึ่งค่าที่ได้ทั้งหมดเป็นการคำนวณกลับเพื่อหาภาระงานของการแบกกระเป๋าในรูปของร้อยละน้ำหนักตัวที่ทำให้เกิดค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆ เช่น แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆของนักเรียนอายุ 6 ปี คำนวณกลับเพื่อหาร้อยละน้ำหนักกระเป๋าต่อน้ำหนักตัว(% BW)แล้วพบว่ามีค่าเท่ากับนักเรียนแบกกระเป๋าหนัก 57.47% BW เป็นต้น จากภาพที่ 4.4 พบว่า สัดส่วนร้อยละน้ำหนักกระเป๋าต่อน้ำหนักตัว(% BW)ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆ นักเรียนอายุ 12 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด และนักเรียนอายุ 6 ปี มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยจะเห็นได้ว่าเมื่ออายุเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ ร้อยละน้ำหนักกระเป๋าต่อน้ำหนักตัว(% BW)ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือร้อยละน้ำหนักกระเป๋าต่อน้ำหนักตัว(% BW)ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 15% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ, ร้อยละน้ำหนักกระเป๋าต่อน้ำหนักตัว(% BW)ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 0% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆและร้อยละน้ำหนักกระเป๋านักเรียนต่อน้ำหนักตัว(% BW)ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋าตามลำดับ โดยร้อยละน้ำหนักกระเป๋านักเรียนต่อน้ำหนักตัว(% BW)ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆจากการทดสอบในระยะเวลาสั้นๆเท่านั้น เป็นการเสนอ

การคำนวณตามหลักชีวกลศาสตร์โดยยังมีข้อจำกัดหลายอย่าง อาทิเช่น ระยะเวลาในการแบกกระเป๋านักเรียน ลักษณะกระเป๋านักเรียน สรีรวิทยาของนักเรียน เป็นต้น ดังนั้นร้อยละน้ำหนักกระเป๋านักเรียนต่อน้ำหนักตัว(% BW)ตามตารางข้างต้นไม่ได้เป็นตัวชี้วัดน้ำหนักกระเป๋านักเรียนที่จะปฏิบัติตามซึ่งต้องขึ้นอยู่กับข้อจำกัดข้างต้นของนักเรียนแต่ละบุคคลเป็นสำคัญ และในตารางที่ 4.15 แสดงน้ำหนักกระเป๋านักเรียนเฉลี่ย(กิโลกรัม) คำนวณหาน้ำหนักกระเป๋าจากน้ำหนักตัว(% BW)ของนักเรียนแต่ละอายุ ในภาพที่ 4.4 เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้ประโยชน์

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของคำนวณน้ำหนักกระเป๋าจากภาพที่ 4.4(หน่วย:กิโลกรัม)

อายุ (ปี)	น้ำหนักกระเป๋านักเรียนจริง	Fc จาก 0% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ	Fc จาก15% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ	Fc จาก 100%ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ
6	2.34 (0.45)	5.77 (1.64)	6.95 (1.81)	13.61 (3.45)
7	2.92 (0.55)	7.43 (2.04)	9.05 (2.37)	18.22 (5.21)
8	3.26 (0.89)	8.12 (2.70)	10.25 (3.25)	22.31 (7.89)
9	3.79 (0.75)	10.62 (3.12)	13.09 (3.43)	27.09 (6.52)
10	4.02 (0.76)	11.38 (3.05)	14.29 (3.51)	30.76 (7.84)
11	4.51 (1.15)	15.71 (4.78)	19.48 (5.80)	40.81 (13.48)
12	4.85 (1.35)	17.40 (6.50)	22.49 (8.96)	51.32 (24.99)

ข้อมูลแสดง ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

การประเมินภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนหากประเมินในทางการแพทย์จะเปรียบเทียบแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนกับภาระงานที่ค่อนข้างเบาคือแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากท่ายืนตรงไม่มีแรงภายนอก หากประเมินในเชิงวิศวกรรมจะเปรียบเทียบแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนกับความสามารถของนักเรียนในระดับที่ปลอดภัยคือแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 15% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ดังในตารางที่ 4.16

ตัวอย่างการคำนวณของนักเรียนหญิงอายุ 6 ปี เป็นผู้เข้าร่วมวิจัยคนที่ 56 มีแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากท่ายืนตรงที่ไม่มีแรงภายนอกมีค่าเท่ากับ 141.02 นิวตัน แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋ามีค่าเท่ากับ 228.86 นิวตัน แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีค่าเท่ากับ 1241.44 นิวตัน และแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 15% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีค่าเท่ากับ 626.86 นิวตัน ซึ่งเมื่อคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างของนักเรียนทุกคนแล้ว คำนวณค่าสถิติพื้นฐานในแต่ละอายุ โดยผลแสดงในตารางที่ 4.13 และเพื่อเปรียบเทียบและประเมินแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากการสะพายกระเป๋านักเรียนกับแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆ จึงคำนวณหาสัดส่วนร้อยละแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนเทียบกับแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้ 1. แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนคิดเป็นร้อยละ (228.86 / 1241.44) x 100 =18.44 ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ 2. แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนคิดเป็นร้อยละ (228.86 / 141.02) x 100 = 162.29 ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากท่ายืนตรงไม่มีแรงภายนอก 3. แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนคิดเป็นร้อยละ (228.86 / 626.86) x 100 = 36.51 ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 15% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ซึ่งเมื่อคำนวณหาสัดส่วนร้อยละทั้ง 3 ของนักเรียนทุกคนแล้ว คำนวณค่าสถิติพื้นฐานในแต่ละอายุ โดยผลแสดงในตารางที่ 4.14 และ 4.16

ตารางที่ 4.16 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของร้อยละแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนเทียบกับแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆ

อายุ (ปี)	ร้อยละของ Fc จากการสะพายกระเป๋านักเรียนเทียบFc จากท่ายืนตรงไม่มีแรงภายนอก	ร้อยละของ Fc จากการสะพายกระเป๋านักเรียนเทียบกับ Fc จาก 15% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ
6	169.69 (17.55)	35.08 (9.06)
7	178.44 (18.42)	33.57 (7.48)
8	176.89 (23.45)	33.14 (8.14)
9	181.71 (21.53)	30.10 (6.36)
10	178.08 (23.42)	29.18 (7.06)
11	171.13 (24.75)	24.34 (7.37)
12	176.85 (26.30)	23.53 (8.05)

ข้อมูลแสดง ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากตารางข้างต้น แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนมากกว่าร้อยละ 170 หรือคิดเป็น 1.7 เท่าของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากท่ายืนตรงไม่มีแรงภายนอก แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนประมาณ 1ใน 3 ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 15% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ(หากกำหนดให้เป็นภาระงานระดับที่ปลอดภัย)

ผลการเปรียบเทียบ

4.5 การเปรียบเทียบการสำรวจน้ำหนักตัวและน้ำหนักกระเป๋านักเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6

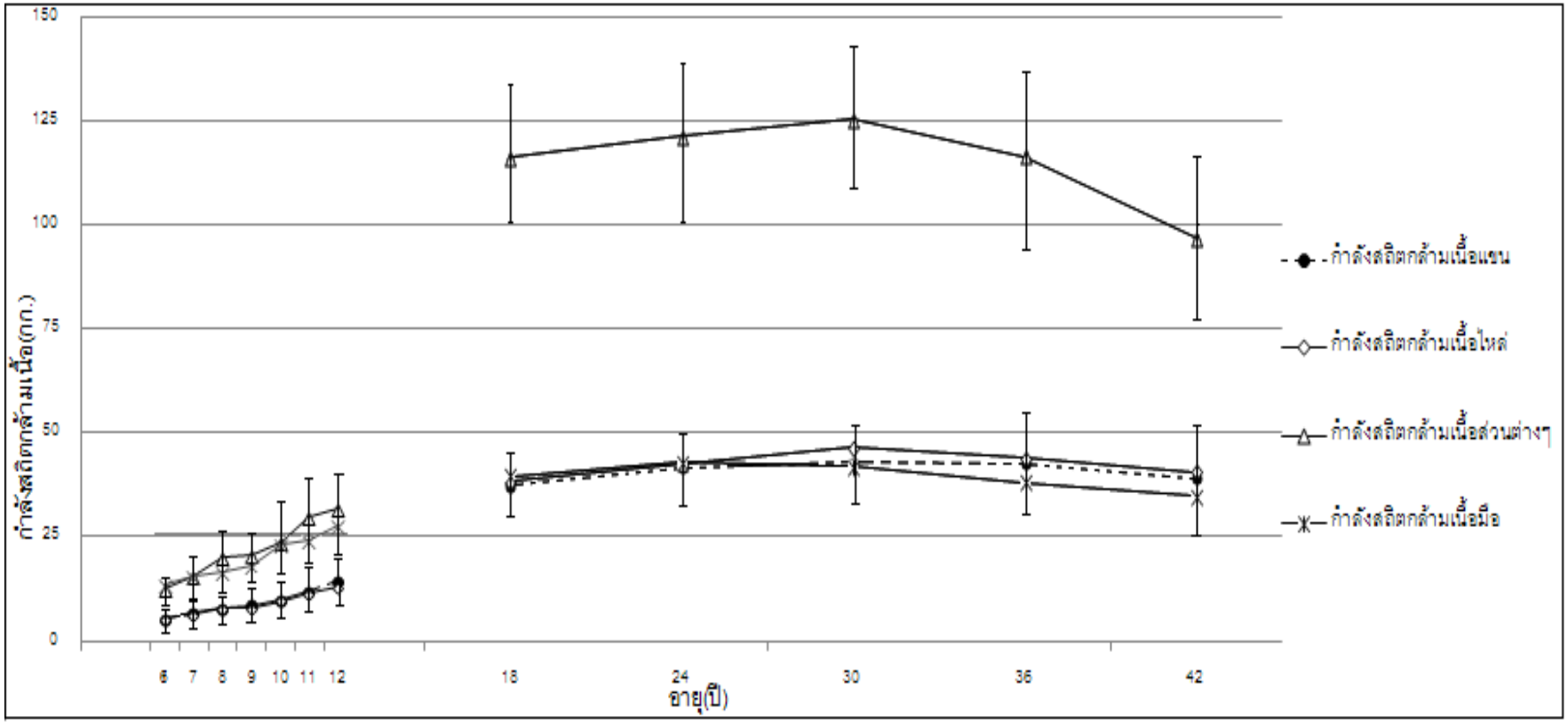
จากการสำรวจน้ำหนักตัวและน้ำหนักกระเป๋านักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อายุระหว่าง 6 - 12 ปี จำนวน 341 คน พบว่าประมาณ 60 % ของนักเรียนทั้งหมดสะพายกระเป๋าหนักมากกว่า 10% ของน้ำหนักตัว ในขณะที่นักเรียนทั้งหมดใช้กระเป๋าสะพายหลัง ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของศูนย์วิจัยเพื่อสร้างเสริมความปลอดภัยและป้องกันการบาดเจ็บในเด็ก คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดีที่พบว่า มากกว่า 80% ของนักเรียนกลุ่มนี้ ต้องแบกสัมภาระไปโรงเรียนด้วยกระเป๋ารูปแบบต่างๆ ที่มีน้ำหนักมากกว่า 10% ของน้ำหนักตัว อาจเป็นเพราะภาวะโภชนาการของนักเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ส่วนใหญ่มีภาวะโภชนาการปกติและน้ำหนักเกิน โดยนักเรียนส่วนน้อยที่มีภาวะโภชนาการผอมและอ้วน

4.6 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ของนักเรียนประถมศึกษากับกลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ของกิตติและคณะ, 2531

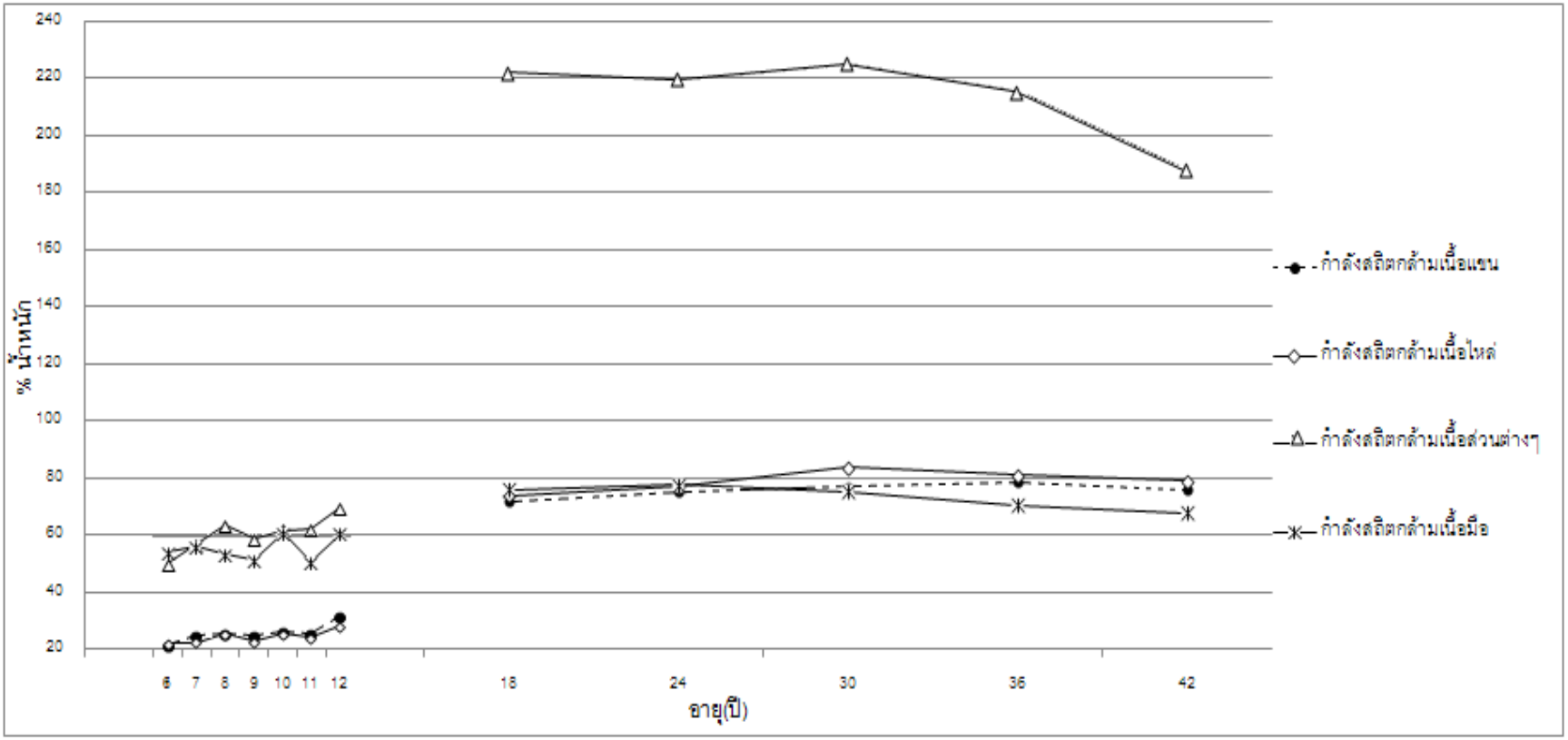
การทดสอบค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ของค่ากำลังสถิตกล้ามเนื้อของกลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยอายุระหว่าง 18 – 42 ปี ของกิตติและคณะ, 2531 พบว่ากำลังสถิตกล้ามเนื้อ มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันเป็นส่วนมาก กล่าวคือ ถ้ากำลังสถิตกล้ามเนื้อท่าใดสูง กำลังสถิตกล้ามเนื้อท่าอื่นจะมีค่าสูงตามไปด้วย กำลังสถิตของแต่ละท่าที่ใช้กล้ามเนื้อชุดเดียวกัน หรือส่วนใหญ่เป็นชุดเดียวกัน ย่อมมีความสัมพันธ์ที่ตรงกัน ซึ่งจะแตกต่างกับค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อของนักเรียนประถมศึกษาที่ส่วนใหญ่กำลังสถิตแต่ละท่ามีความสัมพันธ์กันน้อยจนแทบจะไม่มีเลยที่เป็นเช่นนี้อาจเพราะพัฒนาการกล้ามเนื้อของนักเรียนกำลังเติบโตหรือยังเติบโตไม่เต็มที่ แต่ในนักเรียนอายุ 10, 11 และ 12 ปีเห็นได้ชัดว่ากำลังสถิตกล้ามเนื้อแต่ละท่ามีความสัมพันธ์กันมากขึ้นอาจเพราะพัฒนาการกล้ามเนื้อของนักเรียนใกล้เคียงผู้ใหญ่มากกว่านักเรียนอายุที่น้อยกว่า

4.7 การเปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าและของนักเรียนประถมศึกษากับกลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ของกิตติและคณะ, 2531

การเปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อของนักเรียนประถมศึกษากับกลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยในงานวิจัยนี้เพื่อจะศึกษาพัฒนาการและความแตกต่างของกำลังสถิตกล้ามเนื้อนักเรียนอายุระหว่าง 6-12 ปีและแรงงานชายอายุระหว่าง 18 – 42 ปี ที่ทดสอบกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าเหมือนกัน กำลังสถิตกล้ามเนื้อของนักเรียนประถมศึกษา ดังภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่ากำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันมากจนเกือบจะเท่ากันในทุกอายุ ซึ่งก็เช่นเดียวกันกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันในทุกอายุ และจะใกล้เคียงกันมากจนเกือบจะเท่ากันในอายุ 6, 7และ10 ปี ตามลำดับ จากการนำข้อมูลกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าของนักเรียน มาทดสอบ Paired T-Test เพื่อทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยกำลังสถิตของกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าของนักเรียน ดังแสดงในภาคผนวก ค พบว่ากำลังสถิตระหว่างกล้ามเนื้อแขนกับกล้ามเนื้อไหล่และกำลังสถิตระหว่างกล้ามเนื้อมือกับกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 หากเปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อของกลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่ากำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆเป็นท่าที่ให้ค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในทุกอายุ โดยลักษณะข้อมูลกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆมีค่าเฉลี่ยที่ต่างจากกำลังสถิตกล้ามเนื้อท่าอื่นสูงมาก ในขณะที่กำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนและกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันมากจนเกือบจะเท่ากันในทุกอายุ ส่วนกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือเป็นท่าที่ให้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดในทุกอายุซึ่งจะแตกต่างจากกำลังสถิตกล้ามเนื้อของนักเรียนประถมศึกษาที่กำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่เป็นท่าที่ให้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดในทุกอายุ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสถิตกล้ามเนื้อของกลุ่มประชากรมีค่าสูงในขณะที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของนักเรียนในแต่ละกำลังสถิตกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกันมาก จากที่ได้เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแล้วจึงทำการเปรียบเทียบสัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าต่อน้ำหนักของนักเรียนประถมศึกษากับกลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 กำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าของนักเรียนชั้นประถมศึกษาอายุระหว่าง 6 - 12 ปีและกลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยอายุระหว่าง 18 – 42 ปี ของกิตติและคณะ, 2531



ภาพที่ 4.6 สัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าต่อน้ำหนักของนักเรียนชั้นประถมศึกษาอายุระหว่าง 6 - 12 ปีและกลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยอายุระหว่าง 18 – 42 ปี ของกิตติและคณะ, 2531

ความสัมพันธ์สัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่าต่อน้ำหนักของนักเรียนประถมศึกษา ดังภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนต่อน้ำหนักและสัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ต่อน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันมากจนเกือบจะเท่ากันในอายุ 8,10 และ11 ปี ตามลำดับ ซึ่งก็เช่นเดียวกันกับสัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆต่อน้ำหนักและสัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือต่อน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันมากจนเกือบจะเท่ากันในอายุ 7และ10 ปี โดยแตกต่างกับภาพที่ 4.5 ที่สัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อต่อน้ำหนักไม่ได้เพิ่มขึ้นตามอายุหากเปรียบเทียบสัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อต่อน้ำหนักของกลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่าสัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อต่อน้ำหนักมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อกล่าวคือ ถ้ากำลังสถิตกล้ามเนื้อท่าใดสูง สัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อท่านั้นต่อน้ำหนักก็จะสูงตามไปด้วยในทุกช่วงอายุ 18-42 ปี และเมื่อถึงอายุช่วงหนึ่งกำลังสถิตกล้ามเนื้อทุกส่วนจะลดลง สัดส่วนร้อยละกำลังสถิตกล้ามเนื้อท่านั้นต่อน้ำหนักก็จะลดลงตามไปด้วย

4.8 การเปรียบเทียบภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียน

แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการยืนตรงไม่มีแรงภายนอก(without load) และแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนมีค่าใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 4.4 ภาระงานแบกกระเป๋านักเรียนในงานวิจัยนี้อาจเป็นภาระงานเบาเมื่อใช้การประเมินเทียบกับแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Razali และคณะ, 2006), (Denise และ Andris, 2009) และ (Hamish, 2006) ที่กล่าวว่าผลต่อสรีรวิทยาและจิตฟิสิกส์ของการแบกกระเป๋านักเรียน 10% ของน้ำหนักตัวกับการยืนตรงไม่มีแรงภายนอก (without load) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 แต่งานวิจัยดังกล่าวกำหนดภาระงานการแบกกระเป๋านักเรียนว่าเป็นงานทั่วไปในชีวิตประจำวันซึ่งควรจะกำหนดภาระงานให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ อย่างไรก็ตามจากการสำรวจระยะเวลาในการแบกกระเป๋านักเรียนของHamish, 2006 พบว่านักเรียนใช้ระยะเวลาประมาณ 2 ชั่วโมงในการแบกกระเป๋านักเรียนในแต่ละวัน การแบกกระเป๋านักเรียนในระยะเวลายาวนานอาจส่งผลให้เกิดความล้าของกล้ามเนื้อได้ จึงแนะนำน้ำหนักกระเป๋านักเรียนไม่เกิน 10 % ของน้ำหนักตัวในกรณีที่แบกกระเป๋านักเรียนในระยะเวลานาน โดยเฉพาะนักเรียนที่ต้องใช้เวลาในการเดินทางมาโรงเรียนด้วยตนเอง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อเป็นปัจจัยสำคัญในการทำกิจกรรมต่างๆของนักเรียน ซึ่งจำเป็นที่จะต้องเก็บข้อมูลเพื่อเป็นประโยชน์ในการป้องกันอันตรายและแก้ปัญหาที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของนักเรียน ปัจจุบันปัญหาที่เกิดกับนักเรียนประถมศึกษา คือ การแบกกระเป๋านักเรียนหนักเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัว การแบกกระเป๋านักเรียนถือเป็นภาระงานอย่างหนึ่ง การประเมินภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนของเด็กนักเรียนชั้นประถมศึกษาในงานวิจัยนี้ใช้เกณฑ์ตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต โดยการเปรียบเทียบความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อ งานวิจัยนี้ได้สุ่มตัวอย่างนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้รับการยินยอมให้เข้าร่วมการวิจัยจากผู้ปกครองเท่านั้น จำนวน 341 คน เป็นนักเรียนชาย 178 คนและนักเรียนหญิง 163 คน อายุระหว่าง 6 – 12 ปี และเพื่อศึกษาความสัมพันธ์น้ำหนักตัวหรือดัชนีมวลกายตามอายุและเพศกับความแข็งแกร่งกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

1.จากการสำรวจน้ำหนักกระเป๋านักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อายุระหว่าง 6 – 12 ปี จำนวน 341 คน พบว่าประมาณ 60 % ของนักเรียนทั้งหมดสะพายกระเป๋าหนักมากกว่า 10% ของน้ำหนักตัว

2.จากการทดสอบกำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่า พบว่า กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆเป็นท่าที่ให้ค่าสูงที่สุด รองลงมาคือกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนและกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ ตามลำดับ

3.จากการทดสอบความแตกต่างของกำลังสถิตกล้ามเนื้อ พบว่า กำลังสถิตกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่า ของนักเรียนหญิงและนักเรียนชายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 และกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกับไหล่, กำลังสถิตกล้ามเนื้อมือกับส่วนต่างๆไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

4. จากการเปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อของนักเรียนประถมศึกษากับกลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยของ กิตติและคณะ , 2531 พบว่า มีแนวโน้มที่กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆของนักเรียนจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นหลายเท่าตัวเมื่อนักเรียนอายุเพิ่มขึ้น ในขณะที่กำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ, กำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนและกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นไม่มากนัก

5. จากค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อของนักเรียนประถมศึกษาตารางที่ 4.4-4.10 ส่วนใหญ่กำลังสถิตกล้ามเนื้อแต่ละท่ามีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยจนแทบจะไม่มีเลย โดยน้ำหนัก, ส่วนสูงและดัชนีมวลกายตามอายุและเพศกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อแต่ละท่านั้นมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยหรือแทบไม่มีเลยในทุกอายุเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าน้ำหนักตัวหรือดัชนีมวลกายตามอายุและเพศไม่สามารถเป็นตัวชี้วัดน้ำหนักกระเป๋านักเรียนที่เหมาะสมได้ในนักเรียนอายุเดียวกันเนื่องจากน้ำหนักตัวหรือดัชนีมวลกายตามอายุและเพศไม่สัมพันธ์กับความแข็งแกร่งกล้ามเนื้อ

6. ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ระหว่างกำลังสถิตกล้ามเนื้อแต่ละท่า ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์น้ำหนักและส่วนสูงกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อมีค่ามากขึ้นในนักเรียนอายุตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป กล่าวคือเมื่อนักเรียนอายุ 10 ปีขึ้นไป กำลังสถิตกล้ามเนื้อแต่ละท่ามีความสัมพันธ์กันมากขึ้น โดยน้ำหนักและส่วนสูงกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อแต่ละท่านั้นมีความสัมพันธ์กันมากขึ้นเช่นเดียวกัน

7. แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนเมื่อเทียบกับแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 100% ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ พบว่าลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่ออายุเพิ่มขึ้นความแข็งแกร่งกล้ามเนื้อเพิ่มสูงขึ้นแต่น้ำหนักกระเป๋าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

8.การคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากเงื่อนไขต่างๆของนักเรียนปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าแรงกดอัดมากที่สุดคือ ค่ากำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆของนักเรียน รองลงมาคือน้ำหนักตัว, ขนาดความยาวของสัดส่วนร่างกาย เช่น แขนส่วนล่าง แขนส่วนบนและลำตัว และมุมส่วนของร่างกายขณะทดสอบตามลำดับ

9.แรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจากการสะพายกระเป๋านักเรียนที่น้ำหนักกระเป๋านักเรียนเฉลี่ย 11.14% ของน้ำหนักตัวอยู่ประมาณ 1ใน 3 ของแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณจาก 15 % ของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆจากรูปที่ 4.4 ดังนั้นภาระงานแบกกระเป๋านักเรียนในงานวิจัยนี้อาจเป็นภาระงานเบาเมื่อใช้การประเมินเทียบกับแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง

10.การประเมินภาระงานตามหลักชีวกลศาสตร์ยังมีข้อจำกัดที่ไม่ได้คำนึงถึง อาทิเช่น ระยะเวลาในการแบกกระเป๋านักเรียน ลักษณะกระเป๋านักเรียน สรีรวิทยาของนักเรียน เป็นต้น ดังนั้นร้อยละน้ำหนักกระเป๋านักเรียนต่อน้ำหนักตัว (%BW) ตามตารางที่ 4.15 ไม่ได้เป็นตัวชี้วัดน้ำหนักกระเป๋านักเรียนที่จะปฏิบัติตามได้ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับข้อจำกัดอื่นๆของนักเรียนแต่ละบุคคลเป็นสำคัญ

11.การกำหนดน้ำหนักสิ่งของที่สามารถแบกหรือภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนเป็นสิ่งที่ช่วยให้ทุกคนได้ตระหนักถึงความสำคัญของคุณภาพชีวิตและกิจกรรมต่างๆของนักเรียน ยังคงต้องมีการศึกษาวิจัยภาระงานของการแบกกระเป๋านักเรียนเพิ่มเติมเพื่อให้กำหนดน้ำหนักสิ่งของที่สามารถแบกที่เหมาะสม จนกว่าการกำหนดน้ำหนักกระเป๋านักเรียนที่เหมาะสมเป็นที่พอใจร่วมกันของนักเรียน, ผู้ปกครอง, โรงเรียนและผู้ที่เกี่ยวข้องควรตระหนักถึงปัญหาการแบกกระเป๋านักเรียนเพื่อป้องกันอันตรายและความเจ็บปวดที่จะเกิดขึ้นกับนักเรียนประถมศึกษา

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1.ควรศึกษาโดยใช้รูปแบบการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัตเพื่อที่จะได้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

2.ควรเพิ่มจำนวนโรงเรียนและจำนวนผู้ถูกทดสอบที่สนใจเข้าร่วมในการวิจัยเพื่อให้การวิจัยครอบคลุมประชากรในวงกว้าง

3.ควรศึกษาความแข็งแกร่งกล้ามเนื้อและประเมินภาระงานการแบกกระเป๋านักเรียนเพิ่มเติมในกลุ่มนักเรียนมัธยมศึกษาหรืออายุมากกว่า 12 ปี ทั้งนักเรียนชายและนักเรียนหญิง

4.ควรศึกษาแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากการสะพายกระเป๋านักเรียนในรูปแบบต่างๆนอกเหนือจากการสะพายกระเป๋าหลัง เช่น การสะพายกระเป๋าข้างเดียว การใช้กระเป๋าล้อลาก การใช้กระเป๋านักเรียนแบบถือ

5.งานวิจัยที่ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นนักเรียนหรือเด็กที่อายุน้อยควรมีการเตรียมความพร้อมและการวางแผนเป็นอย่างดี ควรระมัดระวังเรื่องความปลอดภัยในการทดสอบและการสื่อสารระหว่างผู้เข้าร่วมการวิจัยหรือผู้ปกครอง

6.ควรศึกษาโดยใช้แนวทางจิตฟิสิกส์และแนวทางการใช้ผลตอบสนองทางสรีรวิทยาเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองตามแนวทางชีวกลศาสตร์

7.ควรวัดสัดส่วนร่างกายนักเรียนควบคู่ไปด้วย เพื่อใช้ข้อมูลสัดส่วนร่างกายคำนวณแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างตามทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตให้มีความแม่นยำมากขึ้น

8.ควรมีการศึกษากำลังสถิตกล้ามเนื้อท่าอื่นเพิ่มเติม เช่น กำลังสถิตกล้ามเนื้อขา กำลังสถิตกล้ามเนื้อหลัง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติ อินทรานนท์ และคณะ. สัดส่วนร่างกายและความสามารถสูงสุดในการทำงานของกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. โครงการวิจัยโดยทุนส่งเสริมการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

กิตติ อินทรานนท์. การยศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ตริฉัตร จำปาวัลย์. ขีดจำกัดสูงสุดของการยกของที่ยอมรับได้ในระนาบหน้า-หลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ประสงค์ เทียนบุญ. ดัชนีมวลกายในกุมารเวชศาสตร์. วารสารโภชนบำบัด 15 (2547) : 149-156.

ผู้จัดการออนไลน์ ASTV. แบกกระเป๋านักเรียน ต้นเหตุเด็กไทยโครงสร้างเพี้ยน. [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา : http://www.manager.co.th/Lite/ViewNews.aspx?NewsID=9500000056921 [2550,พฤษภาคม 18]

พงษ์จันทร์ อยู่แพทย์ และคณะ. การประเมินความเสี่ยงอันเนื่องมาจากชีวกลศาสตร์ในพนักงานวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. โครงการวิจัยโดยกองวิจัยและพัฒนาสำนักงานกองทุนเงินทดแทน กระทรวงแรงงาน, 2549.

พิศิษฐ์ ตัณฑวณิช. สถิติเพื่องานวิจัยทางการศึกษา. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์เธิร์ดเวฟ เอ็ดดูเคชั่น, 2543.

ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล. แบบจำลองทางชีวกลศาสตร์เพื่อทำนายน้ำหนักที่ปลอดภัยในการแบกกระสอบข้าวสาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล. อาจารย์ ดร . สัมภาษณ์, 1 กันยายน 2554.

สุทธิ์ ศรีบูรพา. เออร์กอนอมิกส์ : วิศวกรรมมนุษยปัจจัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ซีเอ็ด ยูเคชั่น, 2540.

สำนักงานกองทุน สนันสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. ปัญหาใหญ่เด็กนักเรียน แบกกระเป๋าหนักเสี่ยงกระดูกสันหลังคด. [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา : http://www.thaihealth.or.th/healthcontent/featured/12753 [2552,ธันวาคม 8]

หนังสือพิมพ์ข่าวสดออนไลน์. โรคอ้วนภัยเงียบที่คุกคามเด็กไทย. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา : http://www.khaosod.co.th/view_news.php?newsid=TUROc1lXUXdNVEUzTURNMU13PT0=&sectionid=TURNeE5BPT0=&day=TWpBeE1DMHdNeTB4Tnc9PQ [2553,มีนาคม 17]

อำนาจ เสตสุวรรณ. ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการทำงานกับภาระกล้าเนื้อหลังที่วัดด้วยคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ: กรณีศึกษาของสายการประกอบรถบรรทุกขนาดเล็ก 1 คัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

ภาษาอังกฤษ

Asmussen E. and Heeboll-Nielsen K. Isometric muscle strength in relation to age in men and women. Ergonomics 5 (1962) : 167-169.

Brinckmann, P., Biggemann, M. and Hilweg, D. Prediction of the compressive strength of human lumbar vertebrae. Clinical Biomechanics 14 (1989) : 1-27.

Chaffin, D. B., Park, K. S. A longitudinal study of low-back pain associated with occupational weight lifting factors. American Industrial Hygiene Association Journal 34 (1973) : 513-525.

Denise H. Bauer and Andris Freivalds. Backpack load limit recommendation for middle school students based on physiological and psychophysical measurements. Work 32(2009) : 339-350.

Eie, N. Load capacity of the low back. Journal of the Osla City Hospitals 16 (1966) : 73-98.

Ekholm, J. , Arborelius, U.P. and Nemeth, G. The load on the lumbo-sacral joint and trunk muscle activity during lifting. Ergonomics 25 (1982) : 145-161.

Freivalds, A., Chaffin, D. B., Garg, A. and Lee, K. S. A dynamics biomechanical evaluation of lifting maximum acceptable load. Journal of Biomechanics 17 (1984) : 251-262.

Hamish William Mackie. Schoolbag carriage: design, adjustment, carriage duration and weight. Doctoral dissertation, Department of Ergonomics, Massey University, 2006

Kassab, S. J. and Drury, C. G. The effects of working height on a manual lifting task. International Journal of Production Research 14 (1976) : 381-386.

Kroemer, K. H. E. Human strength : terminology, measurement and interpretation of data. Human Factors 12 (1970) : 297-313.

Kroemer, K. H. E. and Marras, W. S. Evaluation of maximal and submaximal static muscle exertions. Human Factors 23 (1981) : 643-653.

Kroemer K. H. E. and Grandjean E. Occupational Ergonomics. 5th Edition. London : Taylor and Francis, 1999.

Nag, P. K. Endurance limits in different modes of load holding. Applied Ergonomics 22 (1991) : 185-188.

NIOSH. Applications manual for the revised NIOSH lifting equation. United States : Ohio, 1994.

Potvin, J. R., Norman, R. W., Eckenrath, M. E., Mcgill, S. M. and Bennett, G. W. Regression models for prediction of dynamic L4/L5 compression forces during lifting. Ergonomics 35 (1992) : 187-201

Razali, R. Abu Osman, N. A. Shasmin, H. N. Usman, J. and Wan Abas, W. A. B. Acceptable Load Carriage for Primary School Girls. European Journal of Scientific Research 15(2006) : 396-403.

Roebuck, J. A., Kroemer K. H. E. and Thomson, W. G. Engineering Anthropometry Methods. United States : John Wiley & Sons, 1975.

Tayyari F. and Smith J.L. Occupational Ergonomics. 1st Edition. Chapman : NY, 1997.

Yoganandan, N., Ray, G., Pintar, F., Myklebust, J. B. and Sances, A. Jr. Stiffness and strain energy criteria to evaluate the threshold of injury to an intervertebral joint. Journal of Biomechanics 22 (1989) : 135-142.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัยสำหรับผู้ปกครอง

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัยสำหรับผู้ปกครอง

เลขที่ .....

ทำที่ รร.สาธิตจุฬาฯ (ฝ่ายประถม)

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ. .....

ข้าพเจ้าซึ่งได้เป็นผู้ปกครองของ ด.ช./ด.ญ. .....

.....

ขอแสดงความยินยอมให้นักเรียนที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าเข้าร่วม โครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย ขนาดสัดส่วนร่างกายและความแข็งแกร่งของนักเรียนชั้นประถมศึกษา

ชื่อผู้วิจัย อาจารย์ไพ โรจน์ ลดาวิจิตรกุล

ที่อยู่ที่ติดต่อ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์ ที่ทำงาน 02-218-6814 มือถือ 084-640-6452

ข้าพเจ้าและนักเรียนที่อยู่ในปกครองของข้าพเจ้า **ได้รับทราบ**รายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย ขั้นตอนต่างๆ ที่จะต้องปฏิบัติ ความเสี่ยง/อันตราย และประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการวิจัยเรื่องนี้ ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยโดยตลอด และ**ได้รับคำอธิบาย**จากผู้วิจัย**จนเข้าใจเป็นอย่างดี**แล้ว

ข้าพเจ้าจึง**สมัครใจ**ให้นักเรียนที่อยู่ในปกครองของข้าพเจ้าเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ภายใต้เงื่อนไขที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอมให้นักเรียนที่อยู่ในปกครองของข้าพเจ้า **เข้ารับการวัดสัดส่วนร่างกาย และกำลังกล้ามเนื้อของร่างกาย** โดยข้าพเจ้ามีสิทธิให้นักเรียนที่อยู่ในปกครองของข้าพเจ้าหรือเป็นความประสงค์ของนักเรียนที่อยู่ในปกครอง **ถอนตัว**ออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ **โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล** ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อนักเรียนที่อยู่ในปกครองของข้าพเจ้าและตัวข้าพเจ้าทั้งสิ้น

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อนักเรียนที่อยู่ในปกครองของข้าพเจ้า ตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และผู้วิจัยจะ**เก็บรักษา**ข้อมูลใดๆที่เกี่ยวข้องกับนักเรียนที่อยู่ในปกครองของข้าพเจ้า **เป็นความลับ** โดยจะไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวนักเรียนที่อยู่ในปกครองและตัวข้าพเจ้า

หากนักเรียนที่อยู่ในปกครองของข้าพเจ้า ไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย ข้าพเจ้าสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 4 อาคารสถาบัน 2 ซอยจุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0-2218-8147 โทรสาร 0-2218-8147 **E-mail**: eccu@chula.ac.th

ข้าพเจ้าจึงได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญ ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และสำเนาหนังสือแสดงความยินยอมไว้แล้ว

ลงชื่อ..... ลงชื่อ.....

(.....อ.ดร. ไพ โรจน์ ลดาวิจิตรกุล.....) (.....)

ผู้วิจัยหลัก เด็กนักเรียนผู้เข้าร่วมวิจัย

ลงชื่อ.....

(.....)

พ่อ/แม่/ผู้ปกครอง/ผู้ดูแล

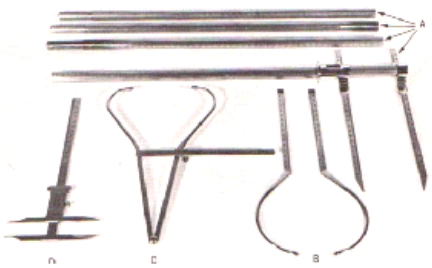
เอกสารชี้แจง สำหรับผู้ปกครองและนักเรียนผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย ขนาดสัดส่วนร่างกายและความแข็งแกร่งของนักเรียนชั้นประถมศึกษา

ชื่อผู้วิจัย อาจารย์ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล ตำแหน่ง อาจารย์
สถานที่ติดต่อผู้วิจัย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โทรศัพท์ (ที่ทำงาน) 02-218-6814 โทรศัพท์มือถือ 084-640-6452

ขอเรียนเชิญเด็กนักเรียนในปกครองของท่านเข้าร่วมวิจัย โดยก่อนที่ท่านจะตัดสินใจยินยอมให้เด็กนักเรียนของท่านเข้าร่วมในการวิจัยมีความจำเป็นที่**ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ** และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

1. โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการวิจัยขนาดสัดส่วนร่างกายและความาแข็งแกร่งของเด็กในระดับประถมศึกษา เพื่อนำไปเป็นฐานข้อมูลในการออกแบบผลิตภัณฑ์ เครื่องเรือน สภาพแวดล้อมให้มีความเหมาะสมต่อเด็ก ซึ่งหนึ่งในงานวิจัยเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของเด็กนักเรียน
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย : เพื่อวัดขนาดสัดส่วนร่างกายและความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อของเด็กนักเรียนระดับประถมศึกษา โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. รายละเอียดของนักเรียนผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย : เป็นเด็กนักเรียนผู้ที่มีสุขภาพแข็งแรง สมบูรณ์ ที่กำลังศึกษาอยู่ในระดับประถมศึกษาปีที่ 1-6 โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งจะต้องได้รับการยินยอมจากผู้ปกครองก่อน
4. กระบวนการวิจัยดำเนินการ โดยผู้วิจัยเป็นหลัก และมีผู้ช่วยอีก 4 ท่าน มีรายละเอียดเป็นดังต่อไปนี้
   - 4.1 ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจะเริ่มตั้งแต่ เดือน มกราคม – มีนาคม 2554 โดยเก็บข้อมูลในวันและเวลาราชการเท่านั้น และเก็บข้อมูลภายในโรงเรียนสาธิตฯ (ฝ่ายประถม)
   - 4.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้ เครื่องชั่งน้ำหนักร่างกาย เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายด้วยมือ (ANTHROPOMETER) ดังแสดงในรูปที่ 1 เก้าอี้สำหรับวัดสัดส่วนในท่านั่ง กล้องถ่ายรูปแบบดิจิตอล และเครื่องวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ



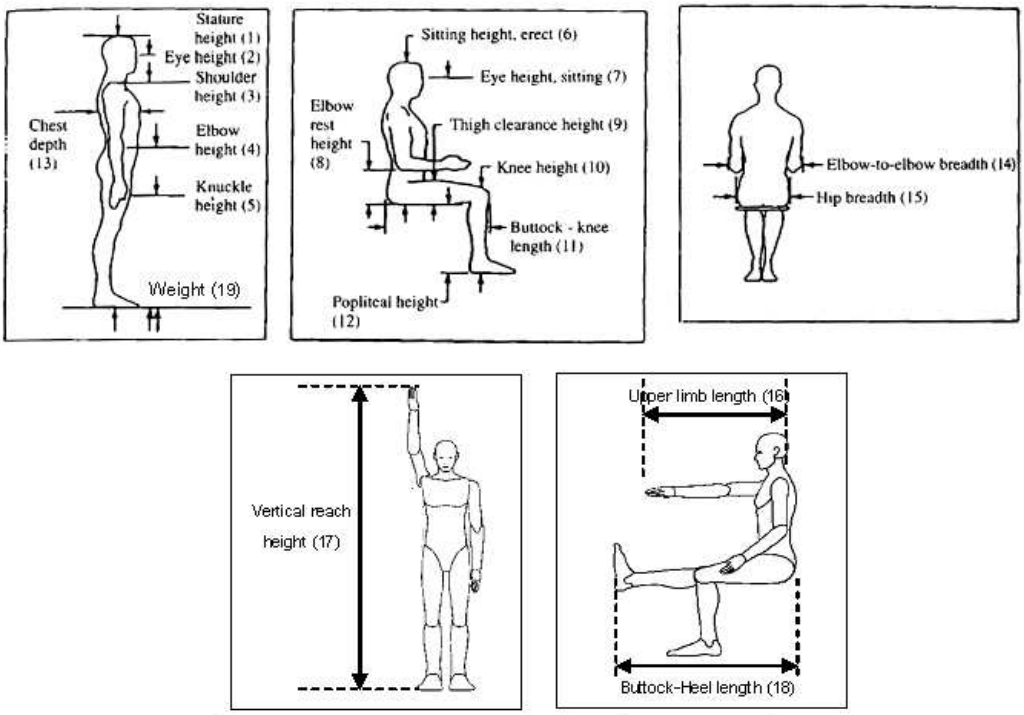
รูปที่ 1 แสดงเครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายด้วยมือ(ANTHROPOMETER)

4.3 เด็กนักเรียนแต่งกายด้วยชุดนักเรียนปกติ สวมใส่ถุงเท้านักเรียนสีขาว แต่ขณะวัดสัดส่วนร่างกายจะไม่สวมใส่รองเท้า อุปกรณ์หรือเครื่องประดับอื่นใดติดตามร่างกาย

4.4 การเก็บข้อมูล แบ่งออกเป็น 1. การวัดสัดส่วนร่างกายทั้งท่ายืนและท่านั่ง และ 2. การวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ 4 ท่า โดยมีขั้นตอนดังนี้

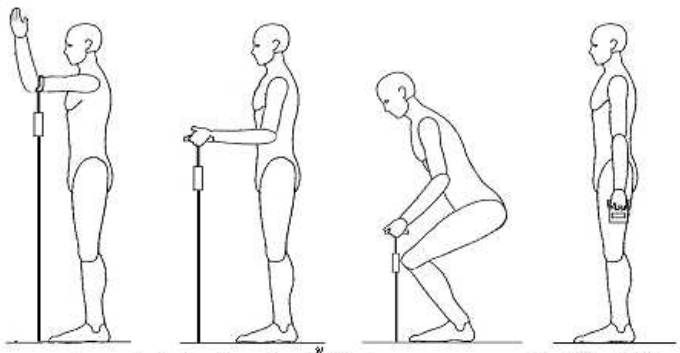
4.4.1 ถ่ายภาพท่ายืนและท่านั่งทั้ง 2 ด้านคือ ด้านหน้าและ ด้านขวามือของผู้ถูกวัด

4.4.2 ผู้วิจัยจะใช้ เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายด้วยมือ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับไม้บรรทัดขนาดใหญ่ วัดตำแหน่งต่างๆ ขณะนักเรียนอยู่นิ่งๆ โดยมี ตำแหน่งการวัดสัดส่วน ประกอบด้วยท่านั่ง 11 ค่า และท่ายืน 8 ค่า ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งการวัดสัดส่วนร่างกาย ท่านั่ง 11 ค่า และท่ายืน 8 ค่า

4.5 วัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ โดยให้นักเรียนออกแรงดึงเครื่องมือวัดแรงในท่าต่างๆ ตามความสามารถสูงสุดของนักเรียน ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะเว้นช่วงพักระหว่างแต่ละท่า ประมาณ 5-10 นาที



รูปที่ 3 แสดงท่าการวัดกำลังสถิต กล้ามเนื้อไหล่, แขน, ผสม และมือ (เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา)

5. การให้ข้อมูลรายละเอียดงานวิจัยแก่ผู้ปกครองของนักเรียนผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

5.1 จะมอบข้อมูลทั้งหมดให้แก่ โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ฝ่ายประถม) เพื่อกระจายไปยังผู้ปกครองนักเรียนทุกคน

5.2 เนื่องจากนักเรียนผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยมีอายุต่ำกว่า 18 ปี ทางผู้วิจัยจึงได้ขอความยินยอมจากผู้ปกครองโดยส่งเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมดให้ผู้ปกครองของเด็กนักเรียนรับทราบ หากไม่ได้รับใบยินยอมจะไม่สามารถวิจัยกับนักเรียนเหล่านั้นได้

6 หากพบว่านักเรียนที่เข้าร่วมวิจัยอยู่ในสภาวะที่ต้องได้รับความช่วยเหลือหรือมีปัญหาใดๆ ระหว่างเก็บข้อมูล ผู้วิจัยจะแจ้งไปยังอาจารย์ประจำชั้นของนักเรียนเป็นอันดับแรก เพื่อปรึกษาถึงวิธีการแก้ไขปัญหา หรือขอยกเว้นการเก็บข้อมูลจากนักเรียนคนนั้น

7 สำหรับอันตรายหรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นต่อนักเรียนผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยนั้น เนื่องจากเป็นการวัดสัดส่วนและกำลังสถิตของร่างกาย ไม่มีเครื่องมือใดๆ ที่จะเป็นสาเหตุให้เกิดการบาดเจ็บได้ แต่ทางผู้วิจัยก็จะอธิบายขั้นตอนวิธีการทดสอบพร้อมทั้งแสดงท่าทางให้นักเรียนเข้าใจอย่างละเอียด และดูแลความปลอดภัยอย่างสูงสุด แต่หากเกิดอุบัติเหตุขึ้นโดยสุดวิสัย จะปฐมพยาบาลเบื้องต้นโดยการนำส่งห้องปฐมพยาบาลของทางโรงเรียนทันที และติดต่อผู้ปกครองให้ทราบโดยเร็วที่สุด

8 งานวิจัยนี้ไม่มีค่าตอบแทน ให้แก่ผู้ปกครองหรือนักเรียนผู้เข้าร่วมการวิจัย นักเรียนที่เข้าร่วมการวิจัยเป็นไปโดยความสมัครใจ และสามารถปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับและไม่มีผลต่อการศึกษา

9 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้ถูกวิจัยจะถูกเก็บเป็นความลับ ไว้ที่ห้องปฏิบัติการการยศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลหรือรูปภาพใดที่สามารถระบุถึงตัวผู้ถูกวิจัยได้จะไม่ปรากฏในรายงาน

10 หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็วสำหรับทบทวนว่ายังสมัครใจจะเข้าร่วมต่อไปหรือไม่

11 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เป็นข้อมูลพื้นฐานทางการยศาสตร์ของเด็กนักเรียนประถมศึกษา เพื่อนำมาใช้ในการ ปรับปรุง ออกแบบหรือกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ เครื่องเรือนหรือสภาพแวดล้อม ที่มีความเหมาะสมกับเด็กนักเรียนชั้นประถมศึกษา
- ใช้เป็นฐานข้อมูลด้านสุขภาพหรือการเจริญเติบโตของนักเรียน
- เป็นข้อมูลให้งานวิจัยอื่นๆ ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพชีวิตของเด็กนักเรียน

12 หากเด็กนักเรียนที่เข้าร่วม ไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าว ผู้ปกครองสามารถร้องเรียนได้ที่

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ชั้น 4 อาคารสถาบัน 2 ซอยจุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์ 0-2218-8147 โทรสาร 0-2218-8147 E-mail: eccu@chula.ac.th

ภาคผนวก ข
ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของนักเรียนและ
ฮิสโตรแกรมแสดงแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของน้ำหนัก, ส่วนสูง, น้ำหนักกระเป๋าและ BMI ของนักเรียนหญิง

อายุ (ปี)	จำนวน	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ส่วนสูง (เซนติเมตร)	น้ำหนักกระเป๋า (กิโลกรัม)	BMI (กก./ม.^{2})
6	22	22.57(3.96)	118.71(4.84)	2.35(0.39)	15.91(1.66)
7	35	25.82(5.90)	124.46(4.89)	2.93(0.49)	16.53(2.90)
8	25	30.07(6.60)	129.56(4.80)	3.29(1.04)	17.82(3.35)
9	29	31.27(7.57)	136.49(6.47)	3.67(0.57)	16.53(2.47)
10	36	35.35(6.94)	142.18(8.38)	4.05(0.79)	17.43(2.73)
11	12	44.23(10.98)	146.47(6.81)	4.32(0.81)	20.52(4.54)
12	4	45.88(6.48)	149.50(6.95)	5.29(1.89)	20.50(2.35)

ข้อมูลแสดง ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลทางสถิติพื้นฐานของน้ำหนัก, ส่วนสูง, น้ำหนักกระเป๋าและ BMI ของนักเรียนชาย

อายุ (ปี)	จำนวน	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ส่วนสูง (เซนติเมตร)	น้ำหนักกระเป๋า (กิโลกรัม)	BMI (กก./ม.^{2})
6	14	26.33(3.99)	122.73(5.34)	2.32(0.54)	17.67(2.87)
7	37	27.24(5.24)	124.29(5.07)	2.91(0.61)	17.50(2.43)
8	34	30.30(7.27)	130.61(6.01)	3.24(0.78)	17.63(3.24)
9	27	36.12(8.98)	136.19(6.78)	3.92(0.90)	19.31(3.81)
10	31	38.63(10.20)	141.18(6.26)	3.98(0.74)	19.17(3.78)
11	22	46.79(11.10)	148.54(10.5)	4.61(1.31)	21.04(3.44)
12	13	43.72(8.69)	150.81(8.42)	4.71(1.20)	19.20(3.53)

ข้อมูลแสดง ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตารางที่ ข.3 แสดงอายุ, จำนวนผู้เข้าร่วมการวิจัย, ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือของนักเรียนหญิง

อายุ (ปี)	จำนวน	ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กิโลกรัม)	ค่าต่ำสุด (กิโลกรัม)	ค่าสูงสุด (กิโลกรัม)
6	22	12.84	2.27	7.72	18.70
7	35	14.45	2.80	8.45	21.83
8	25	15.75	2.35	10.12	20.32
9	29	16.51	2.33	10.84	21.11
10	36	22.02	4.95	11.76	29.56
11	12	21.98	3.68	16.34	28.61
12	4	28.99	3.91	23.58	32.12

ตารางที่ ข.4 แสดงอายุ, จำนวนผู้เข้าร่วมการวิจัย, ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนของนักเรียนหญิง

อายุ (ปี)	จำนวน	ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กิโลกรัม)	ค่าต่ำสุด (กิโลกรัม)	ค่าสูงสุด (กิโลกรัม)
6	22	4.86	1.52	2.70	8.57
7	35	6.00	1.90	2.54	10.63
8	25	7.86	2.34	3.16	13.28
9	29	8.19	2.43	3.73	14.64
10	36	9.36	2.41	3.96	15.32
11	12	11.09	2.78	7.11	15.64
12	4	12.94	3.03	11.01	17.42

ตารางที่ ข.5 แสดงอายุ, จำนวนผู้เข้าร่วมการวิจัย, ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆของนักเรียนหญิง

อายุ (ปี)	จำนวน	ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กิโลกรัม)	ค่าต่ำสุด (กิโลกรัม)	ค่าสูงสุด (กิโลกรัม)
6	22	11.08	3.77	4.51	19.89
7	35	13.39	5.59	3.24	29.89
8	25	18.12	7.65	9.52	34.94
9	29	17.91	5.31	10.32	32.11
10	36	21.86	6.71	8.58	34.53
11	12	25.94	9.93	15.04	47.41
12	4	30.33	5.35	26.55	38.16

ตารางที่ ข.6 แสดงอายุ, จำนวนผู้เข้าร่วมการวิจัย, ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ของนักเรียนหญิง

อายุ (ปี)	จำนวน	ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กิโลกรัม)	ค่าต่ำสุด (กิโลกรัม)	ค่าสูงสุด (กิโลกรัม)
6	22	5.12	2.29	2.01	10.97
7	35	5.09	1.63	2.39	8.52
8	25	6.87	2.70	3.12	11.73
9	29	6.33	2.33	2.12	13.11
10	36	8.26	2.45	3.34	14.11
11	12	9.13	3.14	5.40	15.41
12	4	10.03	2.00	8.34	12.64

ตารางที่ ข.7 แสดงอายุ, จำนวนผู้เข้าร่วมการวิจัย, ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือของนักเรียนชาย

อายุ (ปี)	จำนวน	ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กิโลกรัม)	ค่าต่ำสุด (กิโลกรัม)	ค่าสูงสุด (กิโลกรัม)
6	14	13.30	2.63	9.16	18.01
7	37	15.49	2.46	7.81	19.40
8	34	16.37	2.52	12.58	23.61
9	27	18.16	2.58	12.56	22.69
10	31	23.14	4.97	14.11	31.26
11	22	23.95	5.61	16.46	41.35
12	13	26.22	5.40	16.98	35.48

ตารางที่ ข.8 แสดงอายุ, จำนวนผู้เข้าร่วมการวิจัย, ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนของนักเรียนชาย

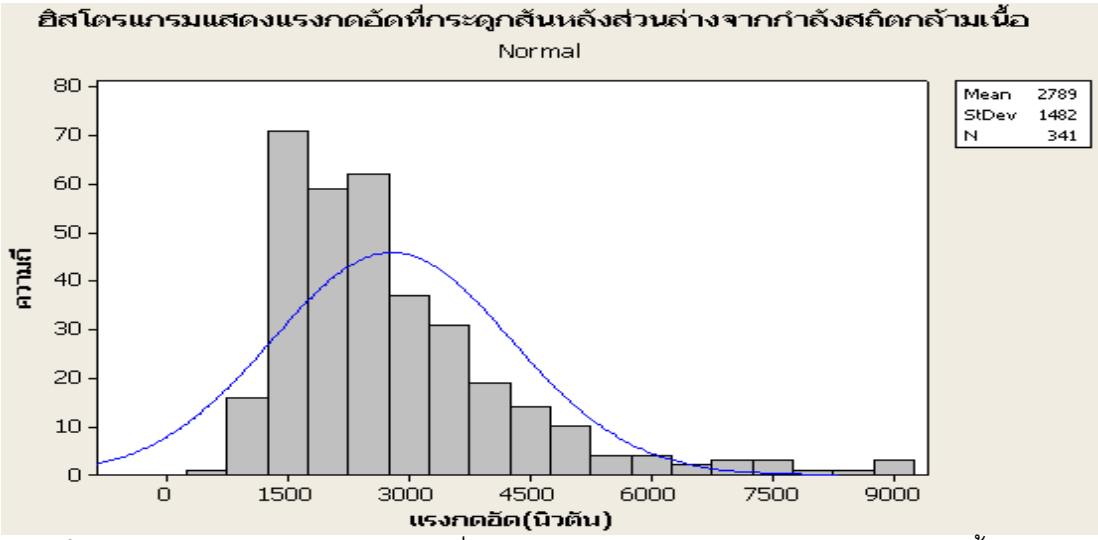
อายุ (ปี)	จำนวน	ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กิโลกรัม)	ค่าต่ำสุด (กิโลกรัม)	ค่าสูงสุด (กิโลกรัม)
6	14	5.75	1.37	3.40	7.85
7	37	7.18	2.36	3.47	14.10
8	34	7.61	2.64	3.63	14.14
9	27	8.61	1.95	3.32	12.16
10	31	10.15	3.32	4.34	19.51
11	22	11.97	3.80	5.18	20.42
12	13	14.25	5.21	6.44	24.11

ตารางที่ ข.9 แสดงอายุ, จำนวนผู้เข้าร่วมการวิจัย, ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆของนักเรียนชาย

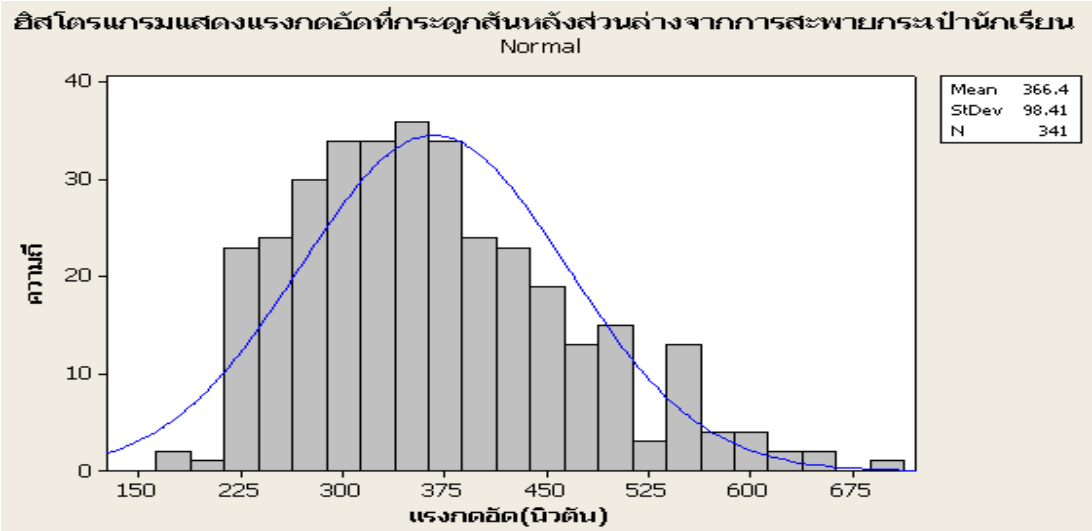
อายุ (ปี)	จำนวน	ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กิโลกรัม)	ค่าต่ำสุด (กิโลกรัม)	ค่าสูงสุด (กิโลกรัม)
6	14	13.69	3.51	8.73	23.54
7	37	16.79	5.45	7.12	36.20
8	34	20.26	7.21	10.63	40.50
9	27	21.88	6.26	10.32	34.86
10	31	24.17	8.47	9.92	49.69
11	22	30.26	9.90	9.14	51.93
12	13	31.09	11.43	12.42	51.87

ตารางที่ ข.10 แสดงอายุ, จำนวนผู้เข้าร่วมการวิจัย, ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ของนักเรียนชาย

อายุ (ปี)	จำนวน (ชาย/หญิง)	ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กิโลกรัม)	ค่าต่ำสุด (กิโลกรัม)	ค่าสูงสุด (กิโลกรัม)
6	14	5.54	1.66	3.48	9.85
7	37	6.80	2.41	1.46	12.93
8	34	8.46	2.55	3.51	13.85
9	27	8.97	3.44	4.11	16.99
10	31	10.62	2.92	6.31	16.32
11	22	12.13	5.19	3.41	21.41
12	13	13.29	6.10	5.92	27.01



ภาพที่ ข.1 ฮิสโตรแกรมแสดงแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากกำลังสถิตกล้ามเนื้อ



ภาพที่ ข.2 ฮิสโตรแกรมแสดงแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างจากการสะพายกระเป๋า

ภาคผนวก ค

การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยกำลังสถิตของกล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่า ของนักเรียนชายกับนักเรียนหญิงและ การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยกำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขนกับไหล่, มือกับส่วนต่างๆ

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 6 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C1	22	4.86	1.52	0.32
C5	14	5.75	1.37	0.37

Estimate for difference: -0.894

95% CI for difference: (-1.893, 0.104)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.83 P-Value = 0.077 DF = 29

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่กลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 6 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C2	22	5.12	2.29	0.49
C6	14	5.54	1.66	0.44

Estimate for difference: -0.415

95% CI for difference: (-1.757, 0.927)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.63 P-Value = 0.534 DF = 33

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 6 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C3	22	11.08	3.77	0.80
C7	14	13.69	3.51	0.94

Estimate for difference: -2.61

95% CI for difference: (-5.14, -0.09)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2.11 P-Value = 0.043 DF = 29

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 6 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C4	22	12.84	2.27	0.48
C8	14	13.30	2.63	0.70

Estimate for difference: -0.460

95% CI for difference: (-2.222, 1.302)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.54 P-Value = 0.595 DF = 24

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 7 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C9	35	6.00	1.90	0.32
C13	37	7.18	2.36	0.39

Estimate for difference: -1.178

95% CI for difference: (-2.184, -0.172)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2.34 P-Value = 0.022 DF = 68

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่กลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 7 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C10	35	5.09	1.63	0.28
C14	37	6.80	2.41	0.40

Estimate for difference: -1.715

95% CI for difference: (-2.680, -0.751)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -3.55 P-Value = 0.001 DF = 63

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 7 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C11	35	13.39	5.59	0.95
C15	37	16.79	5.45	0.90

Estimate for difference: -3.40

95% CI for difference: (-6.00, -0.80)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2.61 P-Value = 0.011 DF = 69

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 7 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C12	35	14.45	2.80	0.47
C16	37	15.49	2.46	0.40

Estimate for difference: -1.038

95% CI for difference: (-2.279, 0.204)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.67 P-Value = 0.100 DF = 67

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 8 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C17	25	7.86	2.34	0.47
C21	34	7.61	2.64	0.45

Estimate for difference: 0.250

95% CI for difference: (-1.055, 1.555)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.38 P-Value = 0.702 DF = 54

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่กลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 8 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C18	25	6.87	2.70	0.54
C22	34	8.46	2.55	0.44

Estimate for difference: -1.588

95% CI for difference: (-2.984, -0.191)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2.28 P-Value = 0.027 DF = 50

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 8 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C19	25	18.12	7.65	1.5
C23	34	20.26	7.21	1.2

Estimate for difference: -2.14

95% CI for difference: (-6.09, 1.81)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.09 P-Value = 0.282 DF = 50

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 8 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C20	25	15.75	2.35	0.47
C24	34	16.37	2.52	0.43

Estimate for difference: -0.626

95% CI for difference: (-1.907, 0.656)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.98 P-Value = 0.332 DF = 53

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 9 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C25	29	8.19	2.43	0.45
C29	27	8.61	1.95	0.38

Estimate for difference: -0.422

95% CI for difference: (-1.601, 0.757)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.72 P-Value = 0.476 DF = 52

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่กลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 9 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C26	29	6.33	2.33	0.43
C30	27	8.97	3.44	0.66

Estimate for difference: -2.638

95% CI for difference: (-4.231, -1.046)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -3.34 P-Value = 0.002 DF = 45

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 9 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C27	29	17.91	5.31	0.99
C31	27	21.88	6.26	1.2

Estimate for difference: -3.98

95% CI for difference: (-7.10, -0.85)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2.55 P-Value = 0.014 DF = 51

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 9 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C28	29	16.51	2.33	0.43
C32	27	18.16	2.58	0.50

Estimate for difference: -1.645

95% CI for difference: (-2.967, -0.324)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2.50 P-Value = 0.016 DF = 52

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 10 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C33	36	9.36	2.41	0.40
C37	31	10.15	3.32	0.60

Estimate for difference: -0.785

95% CI for difference: (-2.227, 0.658)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.09 P-Value = 0.280 DF = 53

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่กลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 10 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C34	36	8.26	2.45	0.41
C38	31	10.62	2.92	0.53

Estimate for difference: -2.362

95% CI for difference: (-3.693, -1.031)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -3.55 P-Value = 0.001 DF = 58

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 10 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C35	36	21.86	6.71	1.1
C39	31	24.17	8.47	1.5

Estimate for difference: -2.31

95% CI for difference: (-6.09, 1.48)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.22 P-Value = 0.227 DF = 56

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 10 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C36	36	22.02	4.95	0.83
C40	31	23.14	4.97	0.89

Estimate for difference: -1.13

95% CI for difference: (-3.55, 1.30)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.93 P-Value = 0.358 DF = 63

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 11 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C41	12	11.09	2.78	0.80
C45	22	11.97	3.80	0.81

Estimate for difference: -0.88

95% CI for difference: (-3.22, 1.46)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.77 P-Value = 0.446 DF = 28

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่กลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 11 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C42	12	9.13	3.14	0.91
C46	22	12.13	5.19	1.1

Estimate for difference: -3.00

95% CI for difference: (-5.92, -0.08)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2.10 P-Value = 0.044 DF = 31

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 11 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C43	12	25.94	9.93	2.9
C47	22	30.26	9.90	2.1

Estimate for difference: -4.32

95% CI for difference: (-11.71, 3.06)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.21 P-Value = 0.238 DF = 22

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนมือเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 11 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C44	12	21.98	3.68	1.1
C48	22	23.95	5.61	1.2

Estimate for difference: -1.98

95% CI for difference: (-5.24, 1.29)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.23 P-Value = 0.227 DF = 30

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 12 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C49	4	12.94	3.03	1.5
C53	13	14.25	5.21	1.4

Estimate for difference: -1.32

95% CI for difference: (-6.05, 3.42)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.63 P-Value = 0.545 DF = 9

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่กลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 12 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C50	4	10.03	2.00	1.0
C54	13	13.29	6.10	1.7

Estimate for difference: -3.26

95% CI for difference: (-7.47, 0.96)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.66 P-Value = 0.120 DF = 14

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 12 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C51	4	30.32	5.35	2.7
C55	13	31.1	11.4	3.2

Estimate for difference: -0.76

95% CI for difference: (-9.89, 8.37)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.18 P-Value = 0.857 DF = 11

ผลแสดงการทดสอบ Two-sample T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือกลุ่มเด็กหญิงกับกลุ่มเด็กชายอายุ 12 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C52	4	28.99	3.91	2.0
C56	13	26.22	5.40	1.5

Estimate for difference: 2.76

95% CI for difference: (-3.26, 8.79)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.12 P-Value = 0.305 DF = 6

ผลแสดงการทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ของนักเรียนอายุ 6 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C1	36	5.206	1.507	0.251
C2	36	5.281	2.054	0.342
Difference	36	-0.075	1.951	0.325

95% CI for mean difference: (-0.735, 0.585)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -0.23 P-Value = 0.819

ผลแสดงการทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือของนักเรียนอายุ 6 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C3	36	12.097	3.846	0.641
C4	36	13.017	2.389	0.398
Difference	36	-0.920	3.599	0.600

95% CI for mean difference: (-2.138, 0.298)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -1.53 P-Value = 0.134

ผลแสดงการทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ของนักเรียนอายุ 7 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C5	72	6.603	2.216	0.261
C6	72	5.971	2.229	0.263
Difference	72	0.633	1.908	0.225

95% CI for mean difference: (0.184, 1.081)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 2.81 P-Value = 0.006

ผลแสดงการทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือของนักเรียนอายุ 7 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C7	72	15.133	5.740	0.676
C8	72	14.982	2.662	0.314
Difference	72	0.152	5.462	0.644

95% CI for mean difference: (-1.132, 1.435)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.24 P-Value = 0.814

ผลแสดงการทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ของนักเรียนอายุ 8 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C9	59	7.711	2.498	0.325
C10	59	7.785	2.712	0.353
Difference	59	-0.074	2.725	0.355

95% CI for mean difference: (-0.784, 0.636)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -0.21 P-Value = 0.835

ผลแสดงการทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือของนักเรียนอายุ 8 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C11	59	19.356	7.411	0.965
C12	59	16.108	2.451	0.319
Difference	59	3.248	6.816	0.887

95% CI for mean difference: (1.472, 5.024)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 3.66 P-Value = 0.001

ผลแสดงการทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ของนักเรียนอายุ 9 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C13	56	8.396	2.205	0.295
C14	56	7.602	3.182	0.425
Difference	56	0.794	3.151	0.421

95% CI for mean difference: (-0.049, 1.638)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 1.89 P-Value = 0.065

ผลแสดงการทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือของนักเรียนอายุ 9 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C15	56	19.823	6.076	0.812
C16	56	17.306	2.569	0.343
Difference	56	2.517	5.742	0.767

95% CI for mean difference: (0.979, 4.054)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 3.28 P-Value = 0.002

ผลแสดงการทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ของนักเรียนอายุ 10 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C17	67	9.726	2.873	0.351
C18	67	9.356	2.911	0.356
Difference	67	0.370	3.185	0.389

95% CI for mean difference: (-0.407, 1.147)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.95 P-Value = 0.345

ผลแสดงการทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือของนักเรียนอายุ 10 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C19	67	22.931	7.604	0.929
C20	67	22.540	4.955	0.605
Difference	67	0.391	6.631	0.810

95% CI for mean difference: (-1.226, 2.009)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.48 P-Value = 0.630

ผลแสดงการทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ของนักเรียนอายุ 11 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C21	34	11.663	3.455	0.592
C22	34	11.074	4.751	0.815
Difference	34	0.589	3.606	0.618

95% CI for mean difference: (-0.670, 1.847)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.95 P-Value = 0.348

ผลแสดงการทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือของนักเรียนอายุ 11 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C23	34	28.74	9.98	1.71
C24	34	23.26	5.05	0.87
Difference	34	5.48	8.93	1.53

95% CI for mean difference: (2.36, 8.60)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 3.58 P-Value = 0.001

ผลแสดงการทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขนกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ของนักเรียนอายุ 12 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C25	17	13.94	4.73	1.15
C26	17	12.52	5.54	1.34
Difference	17	1.42	4.22	1.02

95% CI for mean difference: (-0.75, 3.59)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 1.39 P-Value = 0.183

ผลแสดงการทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆกับกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือของนักเรียนอายุ 12 ปี

	N	Mean	StDev	SE Mean
C27	17	30.91	10.17	2.47
C28	17	26.87	5.12	1.24
Difference	17	4.04	8.62	2.09

95% CI for mean difference: (-0.40, 8.47)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 1.93 P-Value = 0.072

ภาคผนวก ง
มวลของส่วนต่าง ๆของร่างกายและจุดศูนย์กลางมวล

ตารางที่ ง.1 แสดงข้อมูลสัดส่วนของชิ้นส่วนต่างๆของร่างกาย

ส่วนของร่างกาย	ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลเทียบกับความยาวส่วนนั้นวัดจากส่วนใน (Proximal)		สัดส่วนเมื่อเทียบกับมวลของร่างกาย(%)	
	เพศชาย	เพศหญิง	เพศชาย	เพศหญิง
มือและแขนส่วนล่าง	68.2	68.2	2.2	1.8
แขนส่วนบน	45.72	46.62	3.31	2.63
ลำตัวและศีรษะ	41.90[(a)] 69.69[(b)]	41.90[(a)] 69.69[(b)]	56.60	53.64
ขาส่วนบน	44.09	39.79	10.15	13.41
ขาส่วนล่าง	42.65	41.15	4.97	4.19
เท้า	40.54[(c)] 61.55[(d)]	33.90	1.53	1.15

หมายเหตุ [(a)] ความยาวเป็นร้อยละจากสะโพกถึงศีรษะ

[(b)] ความยาวเป็นร้อยละจากสะโพกถึงหัวไหล่

[(c)] ความยาวเป็นร้อยละจากข้อเท้าถึงปลายเท้า

[(d)] ความยาวเป็นร้อยละจากข้อเท้าถึงฝ่าเท้า

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างการคำนวณการหาแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่าง

ตัวอย่าง(กำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ)

ผู้ทำการทดลองเป็นนักเรียนหญิงชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 อายุ 10 ปี น้ำหนักตัว 30.9 กิโลกรัม แรงที่ดึงขณะวัดกำลังสถิต 25.67 กิโลกรัม

ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ ดังนี้

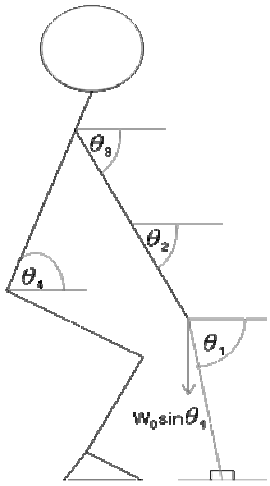
มุมของเส้นแรงที่เกิดขึ้นวัดกับแนวดิ่ง θ_1	89.38	องศา
มุมของมือและแขนส่วนล่างวัดกับแนวราบ θ_2	63.03	องศา
มุมของแขนส่วนบนวัดกับแนวราบ θ_3	79.07	องศา
มุมของลำตัวกับแนวราบ θ_4	44.12	องศา

เมื่อ g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตร-วินาที $^{-2}$)

สมมติฐาน

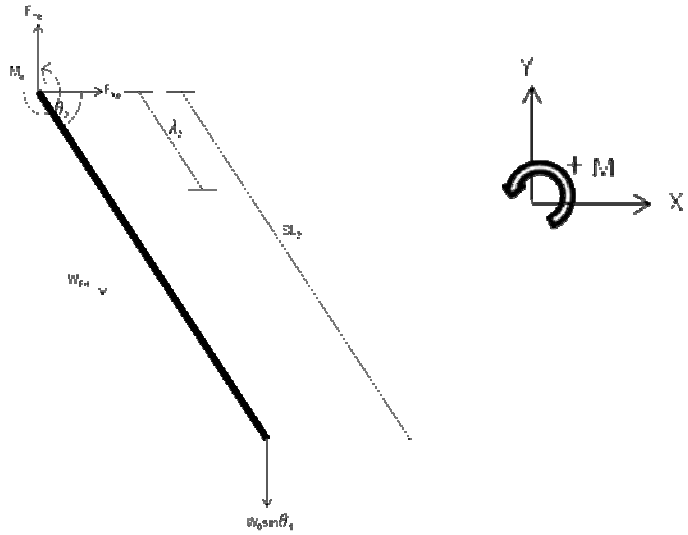
- ศูนย์กลางมวลอยู่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงและสามารถแทนตำแหน่งได้ด้วยจุดเดียว
- ร่างกายทั้งสองข้างสมมาตรกัน ซีกซ้ายและซีกขวาจะมีการกระจายของมวลที่เท่ากันและความยาวของส่วนต่างๆทั้งซ้ายและขวาจะเท่ากัน
- สมมติว่ามวลของส่วนต่างๆของร่างกายและจุดศูนย์กลางมวลของเด็กใช้ตารางเดียวกับของใหญ่

ทำการคำนวณหาขนาดแรงและโมเมนต์จนกระทั่งเราได้ขนาดของแรงอัด ตลอดจนขนาดของแรงดึงกล้ามเนื้อของ erector spinae ที่ทำให้ร่างกายอยู่ในภาวะสมดุลสถิต



ภาพที่ จ.1 ผัง Free body แบบจำลองโครงสร้างร่างกาย

สำหรับมือและแขนส่วนล่าง



ภาพที่ จ.2 ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อข้อศอก

$W_0 \sin\theta_1$ = แรงที่เกิดจากการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ= 25.67sin89.38°(9.81) = 251.81 นิวตัน

ดูตารางที่ ง.1 มวลของมือและแขนส่วนล่าง m_{FH} = มวลของร่างกาย x(4.4)/(2x100) = 30.9x0.022 กก.

W_{FH}= แรงเนื่องจากน้ำหนักมือและแขนส่วนล่าง = $m_{FH} \cdot g$ = (30.9x0.022)(9.81) = 6.67 นิวตัน

M_e= โมเมนต์ลัพธ์ที่ข้อศอกเพื่อรักษาสมดุลสถิตย์

F_{Xe} = แรงลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน X ที่ข้อศอกเพื่อรักษาสมดุลสถิต

F_{Ye} =แรงลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน Y ที่ข้อศอกเพื่อรักษาสมดุลสถิต

SL_2 = ความยาวจากมือถึงข้อศอก = 0.2872 เมตร

ดูตารางที่ ง.1 $\square_2$ = ตำแน่งศูนย์กลางมวล คิดเป็น %ของ SL วัดจากข้อศอก = 68.2%

$SF_X = F_{Xe} = 0$

$SF_Y = F_{Ye} - (W_0 \sin\theta_1 / 2) - W_{FH} = 0$

$F_{Ye} = (W_0 \sin\theta_1 / 2) + W_{FH}$= (251.81/2)+6.67 = 132.57 นิวตัน (W_0หารสอง สำหรับแขนแต่ละข้าง)

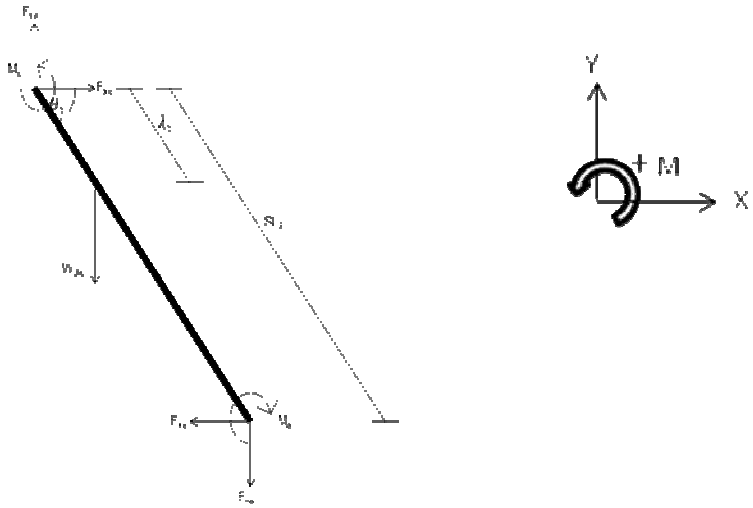
$SM = M_e - (W_0 \sin\theta_1/2) \cdot SL_2 \cdot \cos\theta_2 - W_{FH} \cdot \square_2 \cdot SL_2 \cdot \cos\theta_2$ นั้นคือ สำหรับแขนแต่ละข้าง

$M_e = (W_0 \sin\theta_1/2) \cdot SL_2 \cdot \cos\theta_2 - W_{FH} \cdot \square_2 \cdot SL_2 \cdot \cos\theta_2$

= (125.90x0.2872xcos63.03°)+ (6.67x0.682x 0.2872xcos63.03°) = 16.99 นิวตัน-เมตร

สำหรับแขนส่วนบน

ในทำนองเดียวกัน แรงลัพธ์และโมเมนต์ที่ข้อศอกที่ได้คำนวณจากช่วงแขนส่วนล่าง จะถูกนำมาคำนวณในช่วงแขนส่วนบนด้วยค่าที่เท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้าม



ภาพที่ จ.3 ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อหัวไหล่

ดูตารางที่ ง.1 มวลของแขนส่วนบน m_{UA}= มวลของร่างกาย x (5.26)/(2x100) = 30.9x0.0263 กก.

W_{UA}= แรงอันเนื่องมาจากมวลของแขนส่วนบน = $m_{UA} \cdot g$ = (30.9x0.0263)(9.81) = 7.97 นิวตัน

F_{Xe} = 0

F_{Ye} = 132.57 นิวตัน

M_e = 16.99 นิวตัน-เมตร

M_S= โมเมนต์ลัพธ์ที่หัวไหล่เพื่อรักษาสมดุลสถิตย์

F_{XS} = แรงลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน X ที่หัวไหล่เพื่อรักษาสมดุลสถิต

F_{YS} =แรงลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน Y ที่หัวไหล่เพื่อรักษาสมดุลสถิต

SL_3 = ความยาวจากข้อศอกถึงหัวไหล่ = 0.2861 เมตร

ดูตารางที่ ง.1 $\square_3$ = ตำแน่งศูนย์กลางมวล คิดเป็น %ของ SL วัดจากหัวไหล่ = 46.62%

$SF_X = -F_{Xe} + F_{XS} = 0$

$SF_Y = -F_{Ye} - W_{UA} + F_{YS} = 0$

$F_{YS} = F_{Ye} + W_{UA}$ = 132.57+7.97= 140.54 นิวตัน

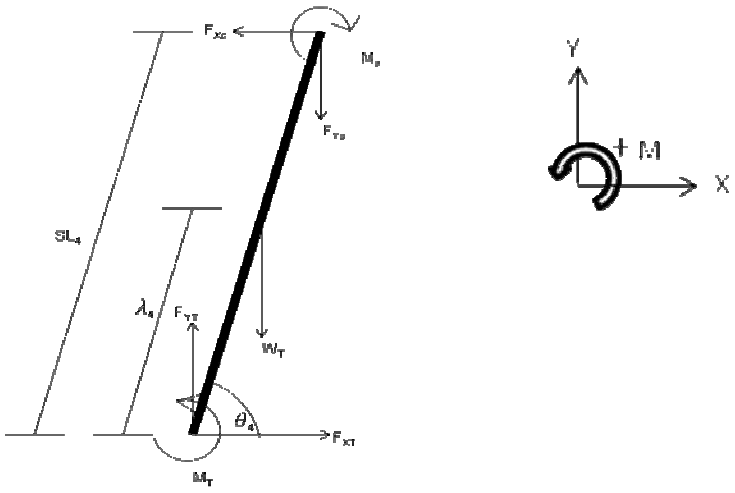
$SM = M_S - M_e - W_{UA} \cdot \square_3 \cdot SL_3 \cdot \cos\theta_3 - F_{Ye} \cdot SL_3 \cdot \cos\theta_3 - F_{Xe} \cdot SL_3 \cdot \sin\theta_3 = 0$

นั้นคือสำหรับหัวไหล่แต่ละข้าง

M_S =16.99+ (7.97x0.4662x0.2861xcos79.07°) + (132.57x0.2861xcos79.07°)= 24.38 นิวตัน-เมตร

สำหรับลำตัว

ส่วนของลำตัวสิ้นสุดที่ L5/S1 ซึ่งเป็นหมอนรองกระดูกระหว่างกระดูกหลังส่วนล่างท่อนสุดท้าย (lumber)กับกระดูกก้นกบ



ภาพที่ จ.4 ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อลำตัว

ดูตารางที่ ง.1 มวลของลำตัว m_T = มวลของร่างกาย x (53.64)/(100) = 30.9x0.5364 กก.

W_T= แรงอันเนื่องมาจากมวลของลำตัว = $m_T \cdot g$ = (30.9x0.5364)(9.81) = 162.60 นิวตัน

F_{XS} = 0

F_{YS} = 140.54 นิวตัน(หัวไหล่ข้างเดียว) 281.08 นิวตัน(หัวไหล่สองข้าง)

M_S = 24.38 นิวตัน-เมตร(หัวไหล่ข้างเดียว) 48.76 นิวตัน-เมตร(หัวไหล่สองข้าง)

M_T= โมเมนต์ลัพธ์ที่L5/S1เพื่อรักษาสมดุลสถิตย์

F_{XT} = แรงลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน X ที่ L5/S1เพื่อรักษาสมดุลสถิต

F_{YT} =แรงลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน Y ที่ L5/S1เพื่อรักษาสมดุลสถิต

SL_4 = ความยาวจากลำตัวจาก L5/S1 ถึงหัวไหล่ = 0.335 เมตร

ดูตารางที่ ง.1 $\square_4$ = ตำแน่งศูนย์กลางมวลของลำตัว คิดเป็น %ของ SL วัดจาก L5/S1 = 69.69%

$SF_X = -F_{XS} + F_{XT} = 0$

$SF_Y = -F_{YS} - W_T + F_{YT} = 0$

$F_{YT} = F_{YS} + W_T$ = 281.08+162.60 = 443.68 นิวตัน

$SM = M_T - M_S - W_T \cdot \square_4 \cdot SL_4 \cdot \cos\theta_4 - F_{YS} \cdot SL_4 \cdot \cos\theta_4 - F_{XS} \cdot SL_4 \cdot \sin\theta_4 = 0$

M_T = 48.76+(162.60x0.6969 x0.335xcos44.12°)+(281.08x0.335xcos44.12°)= 143.61 นิวตัน-เมตร

จากการคำนวณจะเห็นว่าถ้าลำตัวอยู่ในสมดุลสถิตย์แล้วโมเมนต์ลัพธ์ 143.61 นิวตัน-เมตร จะต้องมีโมเมนต์ที่มีขนาดเท่ากันมายันไว้ในทิศทางตรงกันข้าม ถ้าสมมติว่า erector spinae เป็นกล้ามเนื้อชุดเดียวที่ทำหน้าที่ดึงลำตัวให้สมดุลที่จุด L5/S1 เราก็จะสามารถคำนวณขนาดของแรงกล้ามเนื้อชุดนี้ได้

เมื่อ F_{MC} = แรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งเกิดจากแรงดึงกล้ามเนื้อ erector spinae

D = แขนโมเมนต์ erector spinae จาก L5/S1

สมมติให้แขนโมเมนต์ของชุดกล้ามเนื้อ erector spinae เป็น 0.04 เมตร จาก L5/S1 ดังนั้น

$M_T = F_{MC} \cdot d$

143.61 = F_{MC} (0.04)

F_{MC} = 143.61/0.04 = 3,590.25 นิวตัน

F_V = ผลรวมของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก L5/S1ทำมุม 44.12

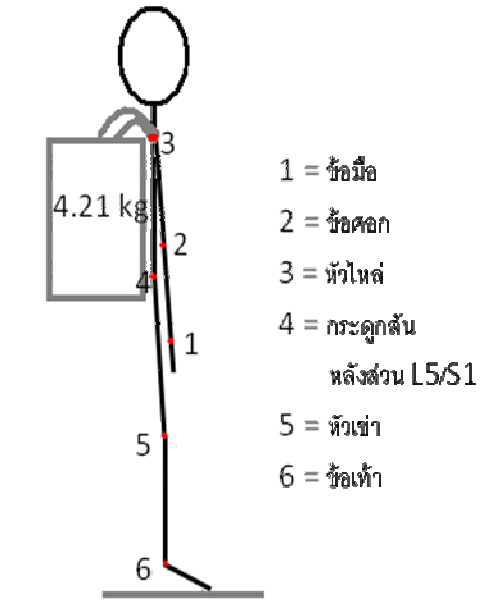
= $(2W_{FH} + 2W_{UA} + W_T)$ = (2(6.67)+2(7.97)+162.60 = 191.88 นิวตัน

เพราะฉะนั้น ผลรวมของแรงอัดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก L5/S1

$F_C = F_{MC} + F_V$ = 3,590.25 + 191.88 = 3,782.13 นิวตัน

ตัวอย่าง (จากการสะพายกระเป๋านักเรียน)

นักเรียนหญิงชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 อายุ 10 ปี น้ำหนักตัว 30.9 กิโลกรัม สะพายกระเป๋าหนัก 4.21 กิโลกรัม



ภาพที่ จ.5 ผัง Free body แบบจำลองโครงสร้างร่างกายขณะสะพายกระเป๋า

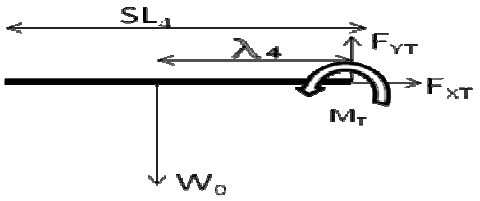
สมมติฐาน

- ศูนย์กลางมวลอยู่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงและสามารถแทนตำแหน่งได้ด้วยจุดเดียว
- ร่างกายทั้งสองข้างสมมาตรกัน ซีกซ้ายและซีกขวาจะมีการกระจายของมวลที่เท่ากัน และความยาวของส่วนต่างๆทั้งซ้ายและขวาจะเท่ากัน
- สมมติว่ามวลของส่วนต่างๆของร่างกายและจุดศูนย์กลางมวลของเด็กใช้ตารางเดียวกับของใหญ่

ทำการคำนวณหาขนาดแรงและโมเมนต์จนกระทั่งเราได้ขนาดของแรงอัดและแรงเฉือนบน L5/S1 ตลอดจนขนาดของแรงดึงกล้ามเนื้อของ erector spinae ที่ทำให้ร่างกายอยู่ในภาวะสมดุลสถิต

สำหรับลำตัว

ส่วนของลำตัวสิ้นสุดที่ L5/S1 ซึ่งเป็นหมอนรองกระดูกระหว่างกระดูกหลังส่วนล่างท่อนสุดท้าย (lumber)กับกระดูกก้นกบ



ภาพที่ จ.6 ผังโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อลำตัว

W_0 = แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะพายกระเป๋านักเรียน = $W \cdot g$ = 4.21x9.81 = 41.30 นิวตัน

M_T= โมเมนต์ลัพธ์ที่L5/S1เพื่อรักษาสมดุลสถิตย์

F_{XT} = แรงลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน X ที่ L5/S1เพื่อรักษาสมดุลสถิต

F_{YT} =แรงลัพธ์ในทิศทางแนวนอนแกน Y ที่ L5/S1เพื่อรักษาสมดุลสถิต

SL_4 = ความยาวของกระเป๋าถึง L5/S1 = 0.22 เมตร

สมมติให้ λ_4 = ตำแน่งศูนย์กลางมวลของกระเป๋า คิดเป็น %ของ SL วัดจาก L5/S1 = 63.63%

$SF_X = F_{XT} = 0$ $SF_Y = F_{YT} - W_0 = 0$

$F_{YT} = W_0$ = 42.28 นิวตัน

$SM = M_T - M_{Bag} - M_{body} = M_T - W_0 \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 = 0$

$M_T = W_0 \cdot \lambda_4 \cdot SL_4$ = 41.30x0.6363x0.22= 5.78 นิวตัน-เมตร

เมื่อ F_C = แรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ซึ่งเกิดจากแรงดึงกล้ามเนื้อ erector spinae

D = แขนโมเมนต์ erector spinae จาก L5/S1

สมมติให้แขนโมเมนต์ของชุดกล้ามเนื้อ erector spinae เป็น 0.04 เมตร จาก L5/S1 ดังนั้น

$M_T = F_C \cdot d$

5.78 = F(0.04)

F_{MC} = 5.78/0.04 = 144.5 นิวตัน

F_v = ผลรวมของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก L5/S1

$= W_0 + 2W_{FH} + 2W_{UA} + W_T$ = 41.30 + 2(6.67)+2(7.97)+162.60 = 233.18 นิวตัน

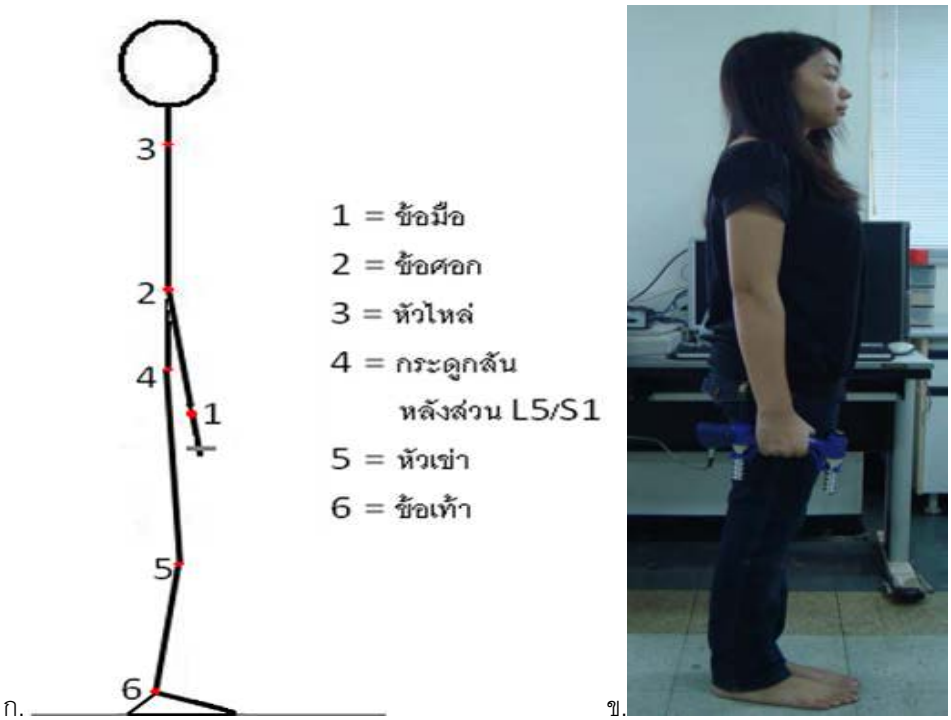
เพราะฉะนั้น ผลรวมของแรงอัดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก L5/S1

$F_C = F_{MC} + F_V$ = 144.5 + 233.18 = 377.68 นิวตัน

ภาคผนวก ฉ
การวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ

กำลังสถิตของกล้ามเนื้อมือ

การวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อมือ จะใช้เครื่องมือวัดโดยเฉพาะ ซึ่งเรียกว่า grip dynamometer ผู้ถูกทดสอบจะต้องยืนตัวตรงหน้าตรง ปล่อยแขนขนานลำตัว เท้าราบอยู่กับพื้น ถือเครื่องมือวัดไว้ในมือข้างที่ถนัด ถ้าถนัดขวาให้ใช้มือขวา ถนัดซ้ายให้ใช้มือซ้าย ถนัดทั้งสองมือให้ใช้มือขวา เครื่องมือวัดนี้จะสามารถปรับระยะห่างได้ เพื่อให้พอดีกับมือของผู้ถูกทดสอบ ขณะทดสอบผู้ถูกทดสอบจะต้องออกแรงบีบอย่างเต็มที่ โดยยังคงยืนตัวตรงหน้าตรง ออกแรงสูงสุดประมาณ 5 วินาที



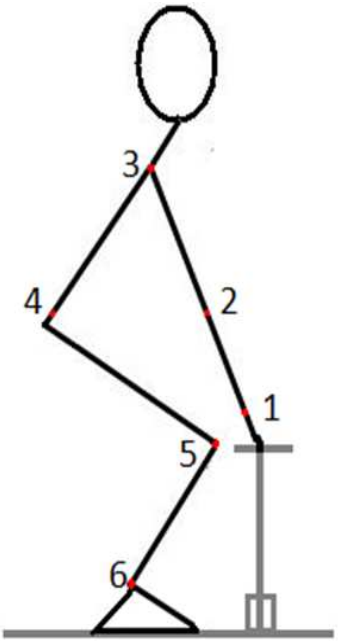
ก. ข.

ภาพที่ ฉ.1 ก. ท่าทางการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อมือ ข. ผัง Free body แบบจำลองโครงสร้างร่างกาย

กำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

ปรับด้ามเครื่องมือทดสอบให้สูงขึ้นจากพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบ 12 นิ้ว (ความสูงจากพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบไปยังระนาบที่ต่ำที่สุดของด้ามเครื่องมือทดสอบ) ให้ผู้ถูกทดสอบอยู่ในท่ากึ่งนั่งกึ่งยืน (semi-squat position) ทั้งสองข้างจับเครื่องมือทดสอบ เท้าทั้งสองข้างอยู่ราบกับพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบโดยไม่เขย่งเท้า จากนั้นให้ผู้ถูกทดสอบใช้เข่าทั้งสองข้างและลำตัวออกแรงในแนวตั้งทีละน้อยจนถึงระดับสูงสุด หน้ามองตรง ออกแรงสูงสุดประมาณ 5 วินาที

ก.

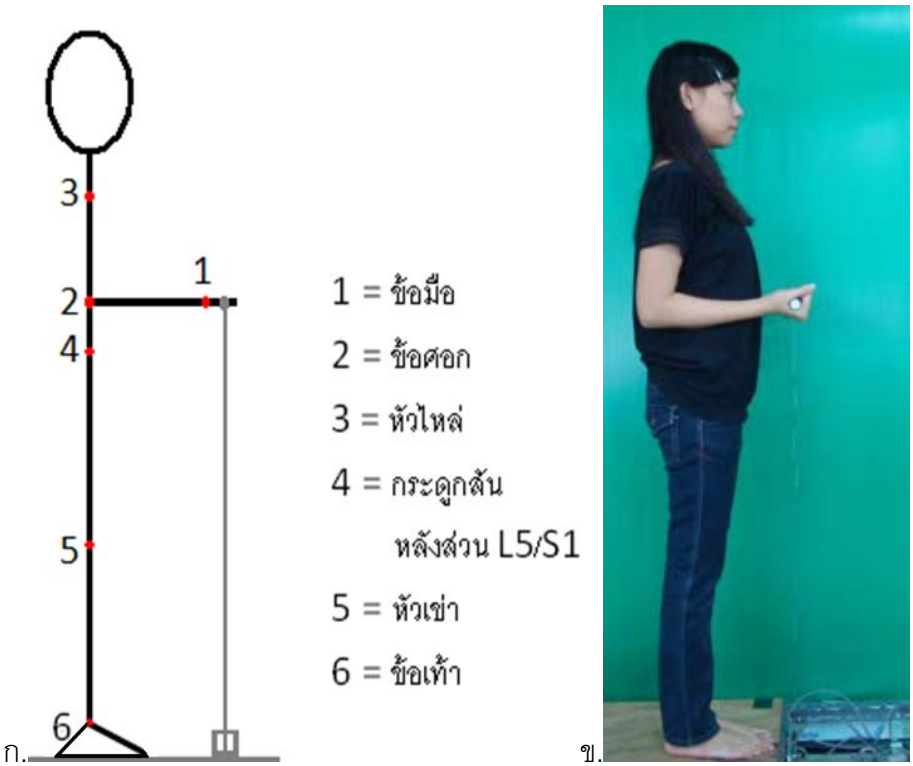


ข.

ภาพที่ ฉ.2 ก. ท่าทางการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ข. ผัง Free body แบบจำลองโครงสร้างร่างกาย

กำลังสถิตของกล้ามเนื้อแขน

ปรับความสูงของด้ามเครื่องมือทดสอบให้อยู่ในระดับที่แขนส่วนล่างของผู้ถูกทดสอบงอเป็นมุม 90 องศากับแขนส่วนบนในขณะที่มือทั้งสองข้างจับด้ามเครื่องมือทดสอบ (ด้ามเครื่องมือทดสอบตั้งฉากกับลำตัวของผู้ถูกทดสอบ แขนส่วนบนทั้งสองข้างของผู้ถูกทดสอบจะอยู่ในแนวตั้งขนานและติดกับลำตัว) การทดสอบผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรง ขาและหลังตั้งตรงไม่งอและเท้าทั้งสองยืนราบอยู่กับพื้น (ไม่ยืนเขย่งเท้า) จากนั้นให้ผู้ทดสอบใช้มือทั้งสองข้างค่อย ๆ ออกแรงในแนวตั้งยกด้ามเครื่องมือทดสอบจนถึงระดับสูงสุด โดยที่ไหล่ทั้งสองข้างไม่เคลื่อนที่ ออกแรงสูงสุดประมาณ 5 วินาที

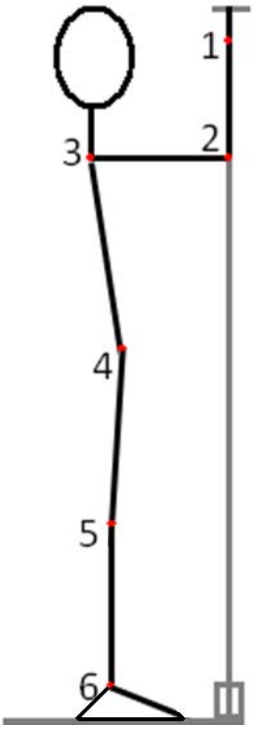


ภาพที่ ฉ.3 ก. ท่าทางการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อแขน ข. ผัง Free body แบบจำลองโครงสร้างร่างกาย

กำลังสถิตของกล้ามเนื้อไหล่

ผู้ถูกทดสอบต้องยืนตรงบนพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบ ต้องปรับความสูงของด้ามเครื่องมือทดสอบให้อยู่ในระดับที่แขนส่วนบนทั้งสองข้างขนานกับพื้นกระดาน ส่วนแขนส่วนล่างนั้นงอทำมุมฉากกับแขนส่วนบน ในขณะที่มือทั้งสองข้างจับด้ามเครื่องมือทดสอบ เท้าทั้งสองข้างอยู่ราบกับพื้นกระดานเครื่องมือทดสอบ (ไม่ยืนเขย่งเท้า) ขาและหลังตั้งตรง จากนั้นให้ผู้ทดสอบใช้มือทั้งสองข้างค่อย ๆ ออกแรงในแนวตั้งยกด้ามเครื่องมือทดสอบจนถึงระดับสูงสุดและขณะออกแรงต้องไม่ยืนเขย่งเท้า ออกแรงสูงสุดประมาณ 5 วินาที

ก.



1 = ข้อมือ
2 = ข้อศอก
3 = หัวไหล่
4 = กระดูกสันหลังส่วน L5/S1
5 = หัวเข่า
6 = ข้อเท้า

ข.

ภาพที่ ฉ.4 ก. ท่าทางการวัดกำลังสถิตกล้ามเนื้อไหล่ ข. ผัง Free body แบบจำลองโครงสร้างร่างกาย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุธาริน สุวรรณโห เกิดเมื่อวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2531 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553