บทวิทยาการ
Original Article

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารทำความเย็นต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบริเวณชั้นผิวหนัง

รฐกร เอมโกษา* ชุตินันท์ สุขสอาด*
* สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

บทคัดย่อ

บทนำ: การรักษาโดยใช้ความเย็น (cryotherapy) เป็นที่นิยมใช้ในการปฐมพยาบาลและรักษาการบาดเจ็บของระบบโครงร่างกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ ในผู้ที่ได้รับบาดเจ็บจากการเล่นกีฬาหรือออกกำลังกาย อย่างไรก็ตามสารทำความเย็นที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการรักษาสูงสุดยังไม่เป็นที่แน่ชัดนัก

วัตถุประสงค์: เพื่อเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารทำความเย็น ซึ่งประกอบไปด้วย ถุงเจล (gel pack) ถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack)

วิธีดำเนินงานวิจัย: นำสารทำความเย็นวางไว้บริเวณกึ่งกลางต้นขาด้านหน้าของผู้เข้าร่วมการทดลองและรัดให้กระชับด้วยผ้ายืด (elastic bandage) บันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นเวลา 20 นาที เมื่อครบกำหนดจึงนำสารทำความเย็นออกและบันทึกอุณหภูมิต่ออีก 20 นาที ผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนจะได้รับการทดลองกับสารทำความเย็นทั้ง 4 ชนิด โดยมีระยะห่างกันทุก 1 สัปดาห์

ผลการวิจัย: ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของผิวหนัง/สารทำความเย็น และค่าเฉลี่ยอัตราการลด/เพิ่มของอุณหภูมิระหว่างถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) อย่างไรก็ตามถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) เป็นสารที่มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของผิวหนัง/สารทำความเย็นต่ำที่สุดและมีค่าเฉลี่ยอัตราการลดอุณหภูมิดีที่สุดในช่วงการรักษา ส่วนถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) เป็นสารที่มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของผิวหนัง/สารทำความเย็นต่ำที่สุดและมีค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิดีที่สุดในช่วงพักฟื้น

สรุปผลการวิจัย: ถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) เป็นสารที่มีความสามารถในการลดอุณหภูมิและคงความเย็นของชั้นผิวหนังบริเวณต้นขาด้านหน้าได้ดีกว่าแบบอื่นที่เปรียบเทียบในการทดลอง

คำสำคัญ: การรักษาโดยใช้ความเย็น น้ำแข็ง อุณหภูมิของชั้นผิวหนัง

บทวิทยาการ
Original Article

Comparisons of cryotherapeutic agents' efficacy on skin surface temperature changes

Ratakorn Aimkosa* Chutinan Suksaard*
* Department of Sports and Health Science, School of Health Science, Mae Fah Luang University, Muang District, Chiangrai

Abstract

Background: Cryotherapy is widely used as a treatment of musculoskeletal injuries or sports injuries. However, the most efficient cryotherapeutic agent remains unknown.

Objective: To compare the efficiency of different types of cryotherapeutic agents, include gel pack, cubed-ice pack, wetted cubed-ice pack and wetted crushed-ice pack.

Methods: The gel pack, cubed-ice pack, wetted cubed-ice pack and wetted crushed-ice pack were applied at the center of the thigh with compression using an elastic bandage, the changes of temperature was monitored during 20 minute of treatment phase and 20 minute of recovery phase. Each participant was given separate 4 cryotherapeutic agents, with at least 1 week between treatment sessions.

Result: No significant difference was found among cubed-ice pack, wetted cubed-ice pack and wetted crushed-ice pack. However, wetted cubed-ice pack produced the lowest temperature at the cryotherapeutic agent/skin interface and fastest cooling rate during treatment phase. In addition, cubed-ice pack produced the lowest temperature at the cryotherapeutic agent/skin interface and slowest rewarming rate during recovery phase.

Conclusion: Wetted cubed-ice pack and cubed-ice pack had the greatest cooling efficiency and sustained decreased skin surface temperatures post application, indicating that both agents were clinically better than other agents.

Keywords: cryotherapy, ice, skin temperature

บทนำ

การรักษาโดยการใช้ความเย็น (cryotherapy) เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการปฐมพยาบาลและรักษาการบาดเจ็บอย่างเฉียบพลันของระบบโครงร่างกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ ผลทางด้านสรีรวิทยาของการใช้ความเย็นในการรักษานั้นจะส่งผลให้ผิวหนังที่สัมผัสกับความเย็นนั้นมีอุณหภูมิลดลง เกิดอาการชาเฉพาะที่[1, 2] ยับยั้งอาการบวม[3] ลดการไหลเวียนของเลือด[4, 5] ลดความเร็วในการนำส่งกระแสประสาท[6] ลดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ[7, 8] ลดการอักเสบ[9] ลดการขยายตัวของเนื้อเยื่อ[10] นอกจากนี้ยังพบว่า ความเย็นมีผลทำให้ลดอัตราการเผาผลาญพลังงานในระดับเซลล์[11] ลดโอกาสการเกิดการบาดเจ็บในขั้นตติยภูมิ[12, 13] การรักษาโดยใช้ความเย็น มีหลากหลายรูปแบบ เช่น การใช้ cold pack ชนิดเจล การใช้สเปรย์เย็น (vapocoolant spray) การใช้ถุงใส่น้ำแข็ง (ice pack) เป็นต้น การใช้ cold pack ชนิดเจลและการใช้ถุงน้ำแข็ง (ice pack) ในการปฐมพยาบาลและการรักษาเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายทั้งในทางคลินิกหรือโรงพยาบาล และทางภาคสนาม เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการรักษาที่ดี จัดหาและเตรียมได้ง่าย ราคาไม่แพง และสะดวกในการพกพา

แม้ว่าในปัจจุบันจะยังหาข้อสรุปเป็นที่แน่ชัดไม่ได้ ว่าวิธีการรักษาโดยการใช้ความเย็นวิธีใดที่มีประสิทธิภาพในการรักษามากที่สุด มีนักวิจัยบางกลุ่ม[14 -18] ได้ทำการศึกษาถึงความสามารถในการลดอุณหภูมิเนื้อเยื่อด้วยวิธีการรักษาโดยการใช้ความเย็นในรูปแบบที่แตกต่างกัน และได้สรุปว่าวิธีการรักษาโดยการใช้ ความเย็นวิธีการใดก็ตามที่ทำให้มีการลดลงของอุณหภูมิที่ชั้นผิวหนังมากที่สุด จะส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพในการรักษาสูงที่สุด โดยอุณหภูมิบริเวณผิวหนังจะต้องอยู่ที่ประมาณ 13.6 องศาเซลเซียส (°ซ) จึงจะเกิดผลในการระงับอาการปวด[1] และจะต้องรักษาระดับของอุณหภูมิผิวหนังให้อยู่ที่ระดับ 10°ซ เพื่อให้อัตราการเผาผลาญพลังงานในระดับเซลล์ลดลง[19]

ดังนั้น เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการรักษาผู้ที่ได้รับบาดเจ็บจากการออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬา ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารให้ความเย็นในรูปแบบต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบริเวณชั้นผิวหนัง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ประกอบกับการรักษาและการฟื้นฟูผู้ที่ได้รับบาดเจ็บจากออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬาต่อไป

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารให้ความเย็นในรูปแบบต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบริเวณชั้นผิวหนัง เพื่อเป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสารทำความเย็นต่อการรักษาและฟื้นฟูผู้ที่ได้รับการบาดเจ็บจากการออกกำลังกายและการเล่นกีฬา

วิธีดำเนินงานวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษาในครั้งนี้ได้ผ่านการอนุมัติเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงเรียบร้อยแล้ว กลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษาเป็นนักศึกษาเพศชายของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงการกำหนดตัวอย่าง (sample size) เป็นไปตามมาตรฐานของระเบียบวิธีการวิจัยโดยมีรายละเอียดการคำนวณประชากรตัวอย่าง (minimal sample size) ที่ใช้ในการสำรวจตามหลักสถิติ จากสูตรทางสถิติ โดยทราบค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงจากการศึกษาที่ได้ทำมาก่อน และทำการกำหนดขนาดตัวอย่างประชากรเพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุด ซึ่งจะเป็นตัวแทนของประชากร โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$N = \frac{(Z)^2\, 2(s)^2}{d^2}$$

เมื่อ N = ขนาดตัวอย่าง
Z = ค่ามาตรฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95 (Z = 1.96)
s = ค่าความแปรปรวน
d = ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีเปลี่ยนแปลง

เมื่อแทนค่าลงในสูตร

$$N = \frac{(1.96)^2\ 2(3.1/\sqrt{50})^2}{(0.3)^2}$$

$$N = 17.07$$

จากการคำนวณได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้นเท่ากับ 17.07 ราย

โดยสรุป การศึกษาในครั้งนี้ต้องใช้ขนาดกลุ่มตัวอย่างไม่น้อยกว่า 18 ราย โดยการสุ่มเลือกประชากรที่ต้องการศึกษาจากนักศึกษาชายของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง โดยการศึกษาในครั้งนี้จะทำการศึกษา 1 กลุ่ม ซึ่งผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนจะต้องทำการทดลองกับสารทำความเย็นทั้ง 4 ชนิด อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้ มีผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวนทั้งสิ้น 20 คน ซึ่งมีอายุเฉลี่ยอยู่ที่ 20.20 ± 1.67 ปี ส่วนสูง 172.30 ± 6.48 เซนติเมตร น้ำหนักตัว 66.48 ± 6.50 กิโลกรัม ดัชนีมวลกาย 22.41 ± 2.1 และมีความหนาของชั้นไขมันบริเวณต้นขาด้านหน้า 13.75 ± 4.80 มิลลิเมตร

เกณฑ์การคัดเข้า (inclusion criteria)

- เป็นนักศึกษาเพศชายที่กำลังศึกษาอยู่ในมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
- มีอายุระหว่าง 19 - 23 ปี

เกณฑ์การคัดออก (exclusion criteria)

- มีแผลเปิดบริเวณต้นขา
- มีประวัติเป็นโรคเกี่ยวกับระบบหัวใจและหลอดเลือด
- มีความผิดปกติเกี่ยวกับระบบประสาทรับความรู้สึกบริเวณผิวหนัง
- มีความหนาของชั้นไขมันบริเวณต้นขาด้านหน้ามากกว่า 40 มิลลิเมตร

ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคนจะได้รับการชี้แจงถึงรายละเอียดของโครงการวิจัยและลงชื่อลงในหนังสือยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยก่อนเข้าร่วมโครงการ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยทำการวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบริเวณผิวหนังด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิบริเวณชั้นผิวหนัง (DER EE DE-3003 digital thermometer) ซึ่งแสดงค่าอุณหภูมิของชั้นผิวหนังที่ความละเอียด 0.1°ซ ผู้วิจัยทำการกำหนดตำแหน่งที่จะติดแท่งวัดอุณหภูมิ thermocouple probe (K-Stick Type) ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยทำการวัดจาก anterior superior iliac spine แล้วลากผ่านมายังจุดกึ่งกลางขอบบนของ patella จากนั้นจึงติดแท่งวัดอุณหภูมิ thermocouple probe (K-Stick Type) ลงไปยังตำแหน่งกึ่งกลางของต้นขาด้านหน้า

การเตรียมสารทำความเย็น

สารทำความเย็นที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มี 4 ชนิด ได้แก่ 1) ถุงเจล (gel pack) 2) ถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) 3) ถุงน้ำแข็งก้อนผสมกับน้ำ (wetted cubed-ice pack) และ 4) ถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) การเตรียมสารให้ความเย็นทำได้โดย ผู้วิจัยทำการแช่ถุงเจล (gel pack) และน้ำแข็งก้อนอย่างน้อย 2 ชั่วโมงก่อนทำการทดลอง การเตรียมถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) เตรียมโดยบรรจุน้ำแข็งก้อนลงไปในถุงพลาสติกซิปล็อคขนาด 11 x 24 เซนติเมตร ให้มีน้ำหนักอยู่ที่ 310 กรัม การเตรียมถุงน้ำแข็งก้อนผสมกับน้ำ (wetted cubed-ice pack) เตรียมโดยเติมน้ำลงไปในถุงพลาสติกซิปล็อคขนาด 11 x 24 เซนติเมตร 1 ใน 4 ของปริมาตรถุงจากนั้นบรรจุน้ำแข็งก้อนที่ลงไปจนกระทั่งมีน้ำหนัก 310 กรัม การเตรียมถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted

crushed-ice pack) เตรียมโดยเติมน้ำลงไปในถุงพลาสติกซิปล็อคขนาด 11 x 24 เซนติเมตร 1 ใน 4 ของปริมาตรถุง จากนั้นนำน้ำแข็งก้อนมาบดแล้วบรรจุลงไปจนกระทั่งมีน้ำหนัก 310 กรัม

วิธีการทดลองที่ใช้ในการวิจัย

ผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนเดินทางมาถึงห้องทดลองก่อนเริ่มกระบวนการทดลองและให้นอนพัก 20 นาที เพื่อเป็นการควบคุมการไหลเวียนของเลือดและอุณหภูมิบริเวณชั้นผิวหนังของผู้เข้าร่วมการทดลองทุกคนให้มีระดับที่ใกล้เคียงกัน ผู้วิจัยจะทำการติด thermocouple probe (K-Stick Type) ลงบนตำแหน่งที่กำหนดไว้ จากนั้นนำสารให้ความเย็นที่สุ่มเลือกไว้มาวางตรงกึ่งกลางของต้นขาด้านหน้าทำการรัดด้วย blood pressure cuff และผ้ายืด (elastic bandage) โดยให้มีค่าความดันอยู่ที่ 20 มิลลิเมตรปรอท เพื่อเป็นการควบคุมแรงกดที่ใช้ให้อยู่ในระดับเดียวกัน ผู้วิจัยจะทำการเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 40 นาที โดยเมื่อครบ 20 นาทีแรกของช่วงทำการรักษา[20] ผู้วิจัยจะนำสารให้ความเย็นออก หลังจากนั้นจะทำการเก็บข้อมูลต่อไปอีก 20 นาทีในช่วงพักฟื้น โดยผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนจะต้องทำการทดลองกับสารทำความเย็นทั้งหมด 4 ชนิด โดยทำการทดลองสัปดาห์ละ 1 ชนิดจนครบ 4 สัปดาห์จึงจะถือว่าสิ้นสุดการทดลอง

สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้จะทำวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานโดยนำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย และการประมาณค่าสัดส่วนด้วยค่าช่วงเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ของข้อมูลทั่วไปของนักศึกษามหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของชั้นผิวหนัง/สารให้ความเย็นค่าเฉลี่ยอัตราการลด/เพิ่มของอุณหภูมิของสารทำความเย็นทั้ง 4 รูปแบบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way repeated-measures ANOVA)

ผลการวิจัย

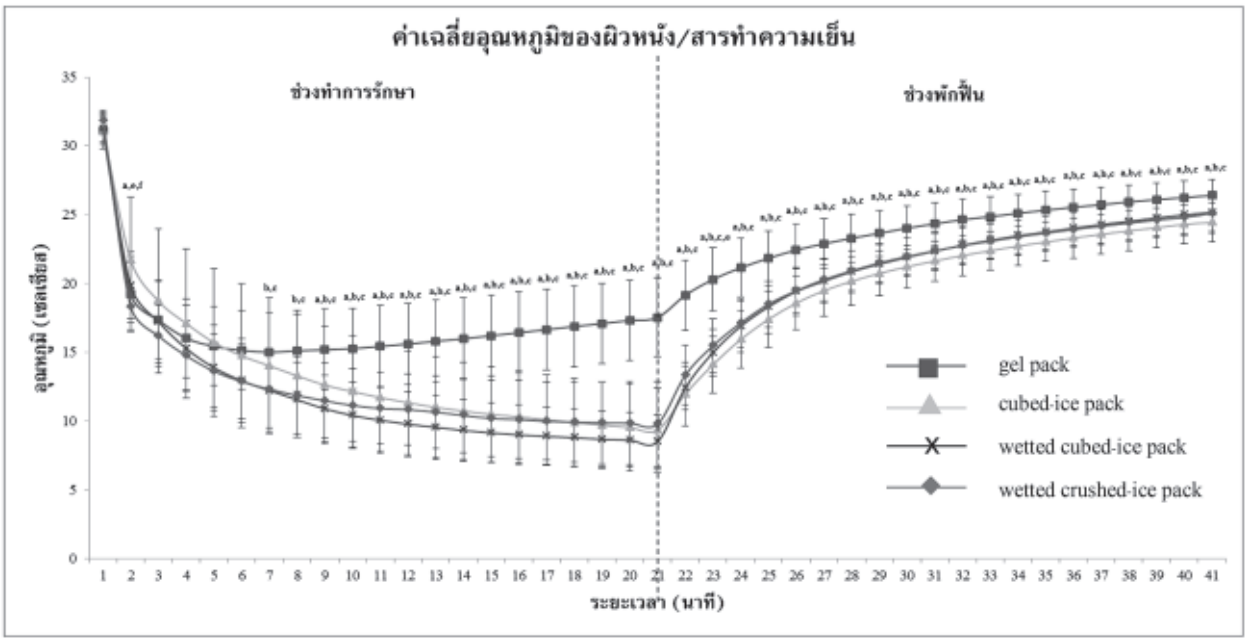
ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และพิสัยของ อายุ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย และความหนาของชั้นไขมันบริเวณต้นขาด้านหน้าของผู้เข้าร่วมการทดลอง

	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	พิสัย
อายุ (ปี)	20.20	1.67	18 – 23
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	172.30	6.48	162 – 184
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	66.48	6.50	56.2 – 78.8
ดัชนีมวลกาย	22.41	2.10	28.26 – 20.21
ความหนาของชั้นไขมันบริเวณต้นขาด้านหน้า (มิลลิเมตร)	13.75	4.80	7 – 28

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย และความหนาของชั้นไขมันบริเวณต้นขาด้านหน้าของผู้เข้าร่วมการทดลองรูปที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วน

เบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผิวหนัง/สารทำความเย็นตั้งแต่นาทีที่ 0 - 40 ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นช่วงทำการรักษา (นาทีที่ 0 - 20) และช่วงพักฟื้น (นาทีที่ 21- 40)

รูปที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิของผิวหนัง/สารทำความเย็น (นาทีที่ 0 - 40)



รูปที่ 1 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของผิวหนัง/สารทำความเย็น a = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง gel pack และ cubed-ice pack, b = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง gel pack และ wetted cubed-ice pack, c = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง gel pack และ wetted crushed-ice pack, d = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง cubed-ice pack และ wetted cubed-ice pack, e = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง cubed-ice pack และ wetted crushed-ice pack, f = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง wetted cubed-ice pack และ wetted crushed-ice pack

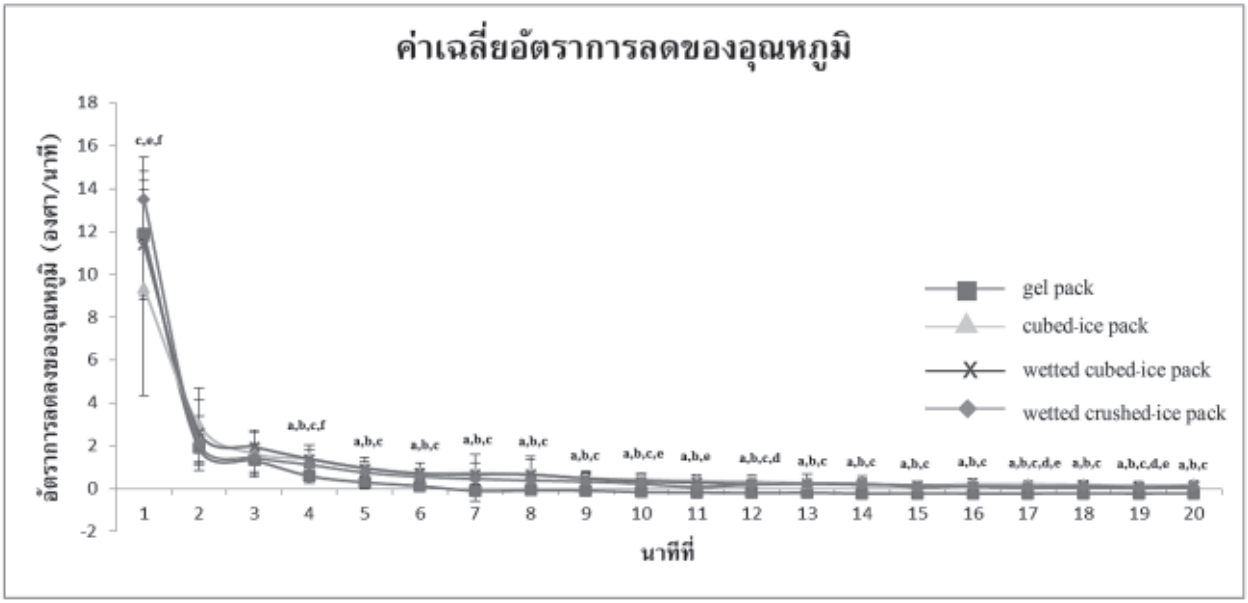
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของผิวหนัง/สารทำความเย็น

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของผิวหนัง/สารทำความเย็นในช่วงทำการรักษาหลังครบ 20 นาที พบว่า สารที่มีความสามารถในการลดอุณหภูมิของผิวหนังได้ดีที่สุด คือ ถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) ที่ 8.52 °ซ ตามมาด้วยถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ที่ 9.37 °ซ ถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) ที่ 9.81 °ซ และถุงเจล (gel pack) ที่ 15.02 °ซ โดยสารสามชนิดแรกมีค่าอุณหภูมิต่ำสุดในนาทีที่ 20 แต่สารชนิดสุดท้ายจะมีช่วงที่อุณหภูมิต่ำสุดในนาทีที่ 6 เมื่อผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของผิวหนัง/สารทำความเย็น พบว่า ตั้งแต่นาทีที่ 8 ถึงนาทีที่ 20 ในช่วงทำการรักษา ถุงเจล (gel pack) มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแตกต่างจากถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ถุงน้ำแข็งก้อนผสม

น้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตั้งแต่นาทีที่ 2 ถึงนาทีที่ 20 ของช่วงทำการรักษา นอกจากนี้ยังพบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของถุงเจล (gel pack) มีความแตกต่างจากสารทำความเย็นชนิดอื่น โดยถุงเจล (gel pack) จะคงความเย็นได้ถึงนาทีที่ 6 หลังจากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนจบช่วงการรักษาในนาทีที่ 20

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของผิวหนัง/สารทำความเย็นในช่วงพักฟื้น พบว่า สารที่มีความสามารถในการรักษาความเย็นบริเวณผิวหนังเอาไว้ได้ดีที่สุด คือ ถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ที่ 24.45°ซ ตามมาด้วยถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) ที่ 25.12°ซ ถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) ที่ 25.17°ซ และถุงเจล (gel pack) ที่ 26.41°ซ เมื่อผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของผิวหนัง/สารทำความเย็นทั้ง 4 ชนิด พบว่า ถุงเจล (gel pack) มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของผิวหนัง/สารทำความเย็นสูงกว่าถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตั้งแต่นาทีที่ 22 ถึงนาทีที่ 40

รูปที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการลดของอุณหภูมิในช่วงทำการรักษา (นาทีที่ 0 - 20)



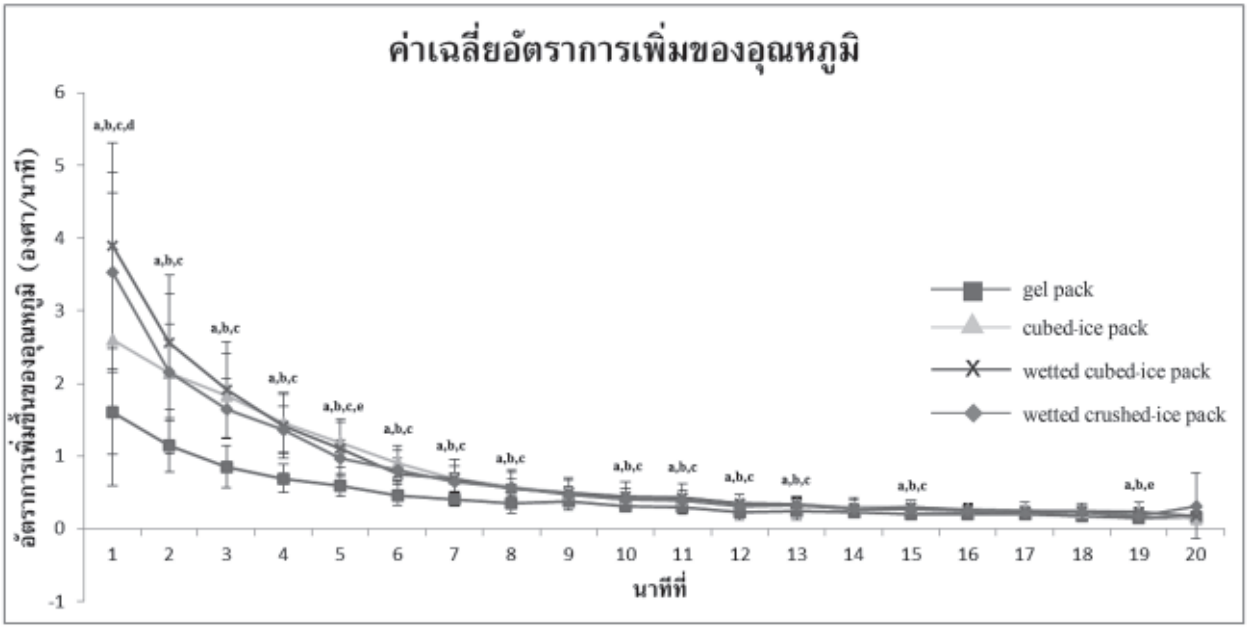
รูปที่ 2 ค่าเฉลี่ยอัตราการลดของอุณหภูมิ a = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง gel pack และ cubed-ice pack, b = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง gel pack และ wetted cubed-ice pack, c = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง gel pack และ wetted crushed-ice pack, d = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง cubed-ice pack และ wetted cubed-ice pack, e = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง cubed-ice pack และ wetted crushed-ice pack, f = มี

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง wetted cubed-ice pack และ wetted crushed-ice pack

ค่าเฉลี่ยอัตราการลด/เพิ่มของอุณหภูมิ

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการลดของอุณหภูมิ พบว่า ระหว่างนาทีที่ 0 และนาทีที่ 1 ถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) มีค่าเฉลี่ยอัตราการลดของอุณหภูมิเร็วกว่าสารทำความเย็นที่เหลือทั้ง 3 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และจากการเก็บข้อมูลตั้งแต่นาทีที่ 4 จนถึงนาทีที่ 20 พบว่า ถุงเจล (gel pack) มีค่าเฉลี่ยอัตราการลดของอุณหภูมิแตกต่างสารทำความเย็นชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าเฉลี่ยอัตราการลดของอุณหภูมิของถุงเจล (gel pack) จะหยุดและกลับเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่นาทีที่ 7 ซึ่งจะแตกต่างจากสารทำความเย็นชนิดอื่น อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) พบว่า ค่าเฉลี่ยอัตราการลดอุณหภูมิในช่วงการรักษาตั้งแต่นาทีที่ 2 จนถึงนาทีที่ 20 ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นในนาทีที่ 4 พบความแตกต่างระหว่างถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) ในนาทีที่ 10 และ 11 พบความแตกต่างระหว่างถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) ในนาทีที่ 12 พบความแตกต่างระหว่างถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) ในนาทีที่ 17 และ 19 พบความแตกต่างระหว่างถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) กับถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

รูปที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิในช่วงพักฟื้น (นาทีที่ 21 - 40)



รูปที่ 3 ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ a = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง gel pack และ cubed-ice pack, b = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง gel pack และ wetted cubed-

ice pack, c = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง gel pack และ wetted crushed-ice pack, d = มีความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญระหว่าง cubed-ice pack และ wetted cubed-ice pack, e = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง cubed-ice pack และ wetted crushed-ice pack, f = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง wetted cubed-ice pack และ wetted crushed-ice pack

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิในช่วงพักฟื้น พบว่าตั้งแต่นาทีที่ 21 ถึงนาทีที่ 39 ถุงเจล (gel pack) มีค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแตกต่างจากสารทำความเย็นชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) พบว่า ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิในช่วงการพักฟื้นไม่ความแตกต่างกัน ยกเว้นในนาทีที่ 21 พบความแตกต่างระหว่างถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งก้อนผสมน้ำ (wetted cubed-ice pack) ในนาทีที่ 25 พบความแตกต่างระหว่างถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) และในนาทีที่ 39 พบความแตกต่างระหว่างถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

วิจารณ์

จากความรู้ด้านอุณหพลศาสตร์ ทำให้เราทราบว่า การถ่ายเทพลังงานความร้อนจะเกิดจากบริเวณที่มีพลังงานความร้อนสูงไปยังบริเวณที่มีพลังงานความร้อนต่ำ[16] ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขณะทำการรักษาด้วยความเย็นจะเกิดจากการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากเนื้อเยื่อซึ่งถือว่ามีพลังงานความร้อนสูงกว่าไปยังสารทำความเย็น ซึ่งมีพลังงานความร้อนต่ำกว่า การศึกษาก่อนหน้านี้[1,21-25] แสดงให้เห็นว่า การรักษาโดยใช้ความเย็นสามารถช่วยในการลดอุณหภูมิของเนื้อเยื่อ ลดอาการเจ็บ ลดอาการบวม ลดความเร็วในการนำส่งกระแสประสาท ลดอัตราการเผาผลาญพลังงานระดับเซลล์ และยังช่วยลดการไหลเวียนของเลือดเฉพาะที่ ซึ่งประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้นนี้สามารถช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการรักษาการบาดเจ็บและช่วยส่งเสริมให้ผู้ป่วยสามารถกลับไปเล่นกีฬาหรือออกกำลังกายได้เร็วยิ่งขึ้น การศึกษาในปี 2003 ได้เสนอว่า ประสิทธิภาพของการรักษาด้วยความเย็นนั้นขึ้นอยู่กับระดับความเย็นของอุณหภูมิและความเร็วในการลดลงอุณหภูมิของเนื้อเยื่อที่ได้รับบาดเจ็บ[16] จากข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยมีแนวคิดว่า ประสิทธิภาพของการรักษาด้วยความเย็นจะขึ้นอยู่กับความสามารถของสารทำความเย็นในการลดอุณหภูมิของเนื้อเยื่อได้มากและเร็วที่สุด นอกจากนี้สารทำความเย็นชนิดนั้น ๆ ต้องสามารถที่จะรักษาระดับความเย็นให้กับเนื้อเยื่อได้นานที่สุด

การศึกษาในครั้งนี้ ทำการสังเกตการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารทำความเย็นชนิดต่างๆ ตลอดช่วง 40 นาที ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อครบ 20 นาทีของช่วงทำการรักษา สารที่มีความสามารถในการลดอุณหภูมิของชั้นผิวหนังได้ดีที่สุด คือ ถุงน้ำแข็ง ก้อนผสมกับน้ำ (wetted cubed-ice pack) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.52 °ซ นอกจากนี้สารดังกล่าวยังมีความสามารถในการที่จะลดอุณหภูมิของชั้นผิวหนังได้เร็วที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอัตราการลดอุณหภูมิอยู่ที่ 1.14 องศาเซลเซียส/นาที (°ซ/นาที) เมื่อเข้าสู่ในช่วงพักฟื้น ผู้วิจัยได้นำสารทำความเย็นออกและพบว่าอุณหภูมิของชั้นผิวหนังจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่นาทีที่ 1 เมื่อครบ 20 นาทีของช่วงพักฟื้น ผู้วิจัยพบว่า สารที่มีความสามารถในการรักษาอุณหภูมิไว้ให้ต่ำที่สุด คือ ถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice

pack) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 24.45 ˚ซ และมีค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิช้าที่สุดที่ 0.75 ˚ซ/นาที

การศึกษาในครั้งนี้มีข้อจำกัดอยู่ที่ผู้วิจัยต้องทำการวัดอุณหภูมิของชั้นผิวหนัง/สารทำความเย็นด้วยการติด thermo couple probe ตรงกึ่งกลางระหว่างสารทำความเย็นและผิวหนังของผู้เข้าร่วมการทดลอง ซึ่งในส่วนของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิจะมีการสัมผัสกับสารทำความเย็นโดยตรง ทำให้ไม่ได้มาซึ่งอุณหภูมิของชั้นผิวหนังของผู้เข้าร่วมการทดลองอย่างแท้จริง อย่างไรก็ตามการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการรักษาด้วยความเย็นก่อนหน้านี้[14,26-30] ก็ได้นำวิธีการดังกล่าวไปใช้ในการรวบรวมข้อมูล ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ใช้วิธีการนี้ในการเก็บข้อมูลในการศึกษาในครั้งนี้เช่นเดียวกัน

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยไม่พบผลข้างเคียงอันไม่พึงประสงค์จากการรักษาด้วยความเย็นในผู้เข้าร่วมการทดลอง จากความรู้ในเรื่องอุณหพลศาสตร์ทำให้เราทราบว่า อุณหภูมิของน้ำที่ละลายเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นของเหลวจะมีอุณหภูมิที่ไม่ต่ำกว่า 0 ˚ซ ซึ่งในช่วงทำการรักษาตลอด 20 นาทีนั้น สารทำความเย็นจะรับเอาพลังงานความร้อนจากร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลอง โดยผ่านการนำความร้อน ซึ่งส่งผลให้น้ำแข็งเกิดการละลาย เซลล์เนื้อเยื่อของมนุษย์จะได้รับความเสียหายและเกิดอันตรายจากความเย็นต่อเมื่ออุณหภูมิที่ใช้มีค่าต่ำกว่า -10˚ซ[31] ดังนั้น อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 8 - 15˚ซ จึงไม่ก่อให้เกิดอาการข้างเคียงอันไม่พึงประสงค์ นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิในช่วงดังกล่าว ยังส่งผลดีต่อการรักษาการบาดเจ็บจากการเล่นกีฬาหรือออกกำลังกาย และมีความเหมาะสมในการฟื้นฟูสภาพเนื้อเยื่อที่ได้รับการบาดเจ็บภายหลังการผ่าตัดอีกด้วย[15]

สารทำความเย็นที่มีความสามารถในการทำให้อุณหภูมิของเนื้อเยื่ออยู่ระหว่าง 8˚ซ - 13˚ซ[32,33] จะช่วยในเรื่องของการลดการอักเสบของเนื้อเยื่อ ลดการบวม ลดการนำของกระแสประสาท ซึ่งเป็นสาเหตุของอาการปวดและลดอัตราการเผาผลาญพลังงานของเนื้อเยื่อ การศึกษาในครั้งนี้พบว่า การใช้ถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ถุงน้ำแข็งก้อนผสมกับน้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) ส่งผลให้อุณหภูมิของเนื้อเยื่อของผู้เข้าร่วมการทดลองอยู่ช่วงดังกล่าว จึงน่าจะส่งผลในเรื่องของการลดการอักเสบ ลดการบวม ลดการนำของกระแสประสาท ซึ่งเป็นสาเหตุของอาการปวดและลดอัตราการเผาผลาญพลังงานได้

แม้ว่าจะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอุณหภูมิชั้นผิวหนัง/สารให้ความเย็นและค่าเฉลี่ยอัตราการลดลงของอุณหภูมิระหว่างถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ถุงน้ำแข็งก้อนผสมกับน้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) อย่างไรก็ตามผลการศึกษาในครั้งนี้ อาจกล่าวได้ว่าถุงน้ำแข็งก้อนผสมกับน้ำ (wetted cubed-ice pack) เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการให้การรักษามากที่สุด ซึ่งสามารถพิจารณาได้สองประเด็น ประเด็นแรกอาจเนื่องมาจากการที่ถุงน้ำแข็งก้อนผสมกับน้ำ (wetted cubed-ice pack) มีส่วนผสมของน้ำ ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลว จึงสามารถเปลี่ยนรูปร่างไปตามภาชนะที่บรรจุ ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสแนบชิดติดกับผิวหนังได้ดีกว่าถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ซึ่งภายในจะมีอากาศก่อให้เกิดช่องว่างแทรกอยู่ระหว่างน้ำแข็งแต่ละก้อน ทำให้ไม่สามารถแนบชิดติดกับผิวหนังได้ดีเท่ากับน้ำ และน้ำยังมีประสิทธิภาพในการนำพลังงานความร้อนได้ดีกว่าอากาศ[34] อีกด้วย ประเด็นที่สอง คือ ลักษณะรูปร่างของน้ำแข็ง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วพบว่า ลักษณะของน้ำแข็งที่อยู่ภายในถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) จะมีมวลและความหนาแน่นน้อยกว่า

น้ำแข็งก้อนที่อยู่ในถุงน้ำแข็งก้อนผสมกับน้ำ (wetted cubed-ice pack) ทำให้ละลายเปลี่ยนสถานะได้เร็ว เมื่อนำมาผสมกับน้ำที่อุณหภูมิห้องซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า ส่งผลให้ไม่สามารถคงอุณหภูมิความเย็นไว้ได้นานและทำให้ประสิทธิภาพในการให้ความเย็นด้อยกว่า จากข้อมูลดังกล่าวทำให้สามารถสรุปได้ว่า การใช้ถุงน้ำแข็งก้อนผสมกับน้ำ (wetted cubed-ice pack) ในช่วงทำการรักษา น่าจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการรักษาอาการบาดเจ็บจากการเล่นกีฬาหรือออกกำลังกายได้มากที่สุด

แม้ว่าจะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอุณหภูมิของสารทำความเย็นและค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิในช่วงพักฟื้นระหว่างถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ถุงน้ำแข็งก้อนผสมกับน้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) เป็นสารทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพในการคงอุณหภูมิความเย็นและมีค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงพักฟื้นดีกว่าสารทำความเย็นชนิดอื่น ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากพลังงานความร้อนจากผิวหนังถูกถ่ายเทไปยังก้อนน้ำแข็ง ทำให้น้ำแข็งเกิดการละลายเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นน้ำ[35] น้ำที่ละลายออกมาทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผิวหนังและถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) มีเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับในช่วงแรกน้ำที่ละลายออกมาจะยังมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของก้อนน้ำแข็ง ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำที่เติมเข้าไปในถุงน้ำแข็งก้อนผสมกับน้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) ตั้งแต่ช่วงก่อนเริ่มการทดลอง ด้วยเหตุนี้อาจส่งผลให้เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคงอุณหภูมิความเย็นและชะลอการเพิ่มค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม ในอนาคตควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของผลของการเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นที่ใช้ในการรักษา รวมถึงปริมาตรและอุณหภูมิของน้ำที่มีความเหมาะสมที่จะใช้เติมเข้าไปในสารทำความเย็น เพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดในการเตรียมสารทำความเย็นเพื่อใช้ในการรักษาอาการบาดเจ็บจากการเล่นกีฬาหรือออกกำลังกาย

สรุปผลการศึกษา

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการเตรียมสารทำความเย็นสำหรับใช้ในการเตรียมอุปกรณ์ปฐมพยาบาลเบื้องต้นในรายการแข่งขันกีฬาต่าง ๆ ตลอดจนสามารถใช้เป็นแนวทางในการให้การรักษาและฟื้นฟูผู้ป่วยที่ได้รับการบาดเจ็บจากการเล่นกีฬาและออกกำลังกาย หรือภายหลังจากได้รับการผ่าตัด จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารทำความเย็นทั้งสี่ชนิด พบว่าถุงน้ำแข็งก้อนผสมกับน้ำ (wetted cubed-ice pack) เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของชั้นผิวบริเวณต้นขาด้านหน้าได้ดีและเร็วที่สุดตลอดช่วงการรักษา ในขณะที่ถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) มีความสามารถในการคงอุณหภูมิของชั้นผิวหนังบริเวณต้นขาด้านหน้าได้ดีที่สุด และมีค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิช้าที่สุดตลอดช่วงการพักฟื้น แม้ว่าจะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างประสิทธิภาพของถุงน้ำแข็งก้อน (cubed-ice pack) ถุงน้ำแข็งก้อนผสมกับน้ำ (wetted cubed-ice pack) และถุงน้ำแข็งบดผสมกับน้ำ (wetted crushed-ice pack) อย่างไรก็ตามผลจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพิจารณาเลือกรูปแบบของสารให้ความเย็น ตลอดจนสามารถใช้เป็นแนวทางในการเตรียมสารให้ความเย็นที่มีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการรักษาและส่งเสริมให้นักกีฬาสามารถกลับมาทำการฝึกซ้อมหรือแข่งขันได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับเงินอุดหนุนโครงการวิจัยจากมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงเป็นอย่างยิ่งในการสนับสนุนงบประมาณในการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Bugaj R. The cooling, analgesic, and rewarming effects of icemassage on localized skin. Phys Ther 1975; 55: 11-9.
2. Schlesinger N, Detry MA, Holland BK, Baker DG, Beutler AM, Rull M, et al. Local ice therapy during bouts of acute gouty arthritis. J Rheumatol 2002; 29: 331-4.
3. Deal DN, Tipton J, Rosencrance E, Curl WW, Smith TL. Ice reduces edema: a study of microvascular permeability inrats. J Bone Joint Surg Am 2002; 84A: 1573-8.
4. Karunakara RG, Lephart SM, Pincivero DM. Changes inforearm blood flow during single and intermittent cold application. J Orthop Sports Phys Ther 1999; 29: 177-80.
5. Weston M, Taber C, Casagranda L, Cornwall MW. Changes in local blood volume during cold gel pack application totraumatized ankles. J Orthop Sports Phys Ther 1994; 19: 197-9.
6. McMeeken J, Murray L, Cocks S. Effects of cooling withsimulated ice on skin temperature and nerve conduction velocity. Aust J Phys Ther 1984; 30: 111-4.
7. Lee SU, Bang MS, Han TR. Effect of cold air therapy inrelieving spasticity: applied to spinalized rabbits. Spinal Cord 2002; 40: 167-73.
8. Miglietta OE. Electromyographic characteristics of clonus andinfluence of cold. Arch Phys Med Rehabil 1964; 45: 508-12.
9. Knight KL. The effects of hypothermia on inflammation andswelling. J Athl Train 1976; 11: 7-10.
10. Lehmann JF, Masock AJ, Wareen CG, Koblanski JN. Effect of therapeutic temperatures on tendon extensibility. Arch Phys Med Rehabil 1970; 51: 481-7.
11. Michenfelder JD, Theye RA. Hypothermia: effect oncanine brain and whole-body metabolism. Anesthesiology 1968; 29: 1107-12.
12. Merrick MA. Secondary injury after musculoskeletal trauma: areview and update. J Athl Train 2002; 37: 209-17.
13. Merrick MA, Rankin JM, Andres FA, Hinman CL. Apreliminary examination of cryotherapy and secondary injury inskeletal muscle.Med Sci Sports Exerc 1999; 31: 1516-21.
14. Belitsky RB, Odam SJ, Hubley-Kozey C. Evaluation of the effectivenessof wet ice, dry ice, and cryogen packs in reducing skintemperature. Phys Ther 1987; 67: 1080-4.
15. Chesterton LS, Foster NE, Ross L. Skin temperature response tocryotherapy. Arch Phys Med Rehabil 2002; 83: 543-9.
16. Merrick MA, Jutte LS, Smith ME. Cold modalities with differentthermodynamic properties produce different surface and intramusculartemperatures. J Athl Train 2003; 38: 28-33.
17. Myrer W, Meason G, Fellingham GW. Temperature changes inthe human leg during and after two methods of cryotherapy. J Athl Train 1998; 33: 25-9.
18. Zemke JE, Anderson JC, Guion WK, McMillan J, Joyner AB. Intramuscular temperature responses in the human leg to twoforms of cryotherapy: ice massage and ice bag. J Orthop Sports Phys Ther 1998; 27: 301-7.

19. Sapega AA, Heppenstall RB, Sokolow DP, et al. The bioenergeticsof preservation of limbs before replantation. J Bone Joint Surg Am 1988; 70: 1500-13.
20. Owen EF Jr, Hart JF, Donofrio JJ, Haralambous J. Mierzejewski E. Paraspinal skin temperature pattern: an interexaminer and intraexaminer reliability study. J Manipulative PhysiolTher 2004; 27: 155-9.
21. Dolan MG, Thornton RM, Fish DR, Mendel FC. Effects of cold water immersion on edema formation after blunt injury to the hind limbs of rats. J Athl Train 1997; 32(3): 233-7.
22. Drez D, Faust DC, Evan JP. Cryotherapy and nerve palsy. Am J Sports Med 1981; 9(4): 256-7.
23. Hocutt JE, Jaffe R, Rylander CR, Beeve JK. Cryotherapy in ankle sprains. Am J Sports Med 1982; 10(5): 316-9.
24. Halar EM, DeLisa JA, Brozovich FV. Nerve conduction velocity: relationship of skin, subcutaneous and intramuscular temperatures. Arch Phys Med Rehabil 1980; 61(5): 199-203.
25. Curl WW, Smith BP, Marr A, Rosenctance E, Holden M, Smith TL. The effects of contusion and cryotherapy on skeletal muscle micro-circulation. J Sports Med Phys Fitness 1997; 37(4): 279-86.
26. Jutte LS, Merrick MA, Ingersoll CD, Edwards JE. The relationship between intramuscular temperature, skin temperature, and adipose thickness during cryotherapy and rewarming. Arch Phys Med Rehabil 2001; 82: 845-50.
27. Kanlayanaphotporn R, Janwantanakul P. Comparison of skin surface temperature during the application of various cryotherapy modalities. Arch Phys Med Rehabil 2005; 86: 1411-5.
28. Enwemeka CS, Allen C, Avila P. Bina J, Konrade J, Munns S. Soft tissue thermodynamics before, during, and after cryotherapy. Arch Phys Med Rehabil 2002; 83: 1501-5.
29. Merrick MA, Knight KL, Ingersoll CD, Potteiger JA. The effects of ice and compression wraps on intramuscular temperature at various depths. J Athl Train 1993; 28: 236-45.
30. Palmer JE, Knight KL. Ankle and thigh skin surface temperature changes with repeated ice pack application. J Athl Train 1996; 31: 319-23.
31. Gage AA. What temperature is lethal for cells?. J DermatolSurgOncol 1979; 5: 459-60.
32. Santos, Vanessa Batista da Costa et al. Effect of cryotherapy on the ankle temperature in athletes: ice pack and cold water immersion. Fisioterapiaem Movimento 2015; 28(1): 23-30.
33. Janwantanakul P. The effect of quantity of ice and size of contact area on ice pack/skin interface temperature. Phys Ther 2009; 95(2): 120-5.
34. Lide DR. CRC Handbook of chemistry and physics. 84thed. Cleveland, OH: CRC press, 2003; 61-67.
35. Hardaker N, Hobbs S, Kennet J. Selfe J. Cooling efficiency of 4 common cryotherapeutic agents. J Athl Train 2007; 42(3): 343-8.