วารสารแพทย์นาวี
Royal Thai Navy Medical Journal

ผลของความดันบรรยากาศสูงต่อสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำอาชีพ

Effect of Hyperbaric Environment on Pulmonary Function in Professional Divers

พิชญ์พงศ์ พูลผล*,* พรชัย สิทธิศรัณย์กุล*****

Peachapong Poolpol, M.D.,*, Pornchai Sithisarankul, M.D., M.P.H., Dr.P.H.*****

บทคัดย่อ

การดำน้ำเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้หลายประการ นักดำน้ำควรปฏิบัติตามกฎการดำอย่างเคร่งครัดเพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น ความดันบรรยากาศใต้น้ำที่สูงกว่าในสภาวะแวดล้อมปกติมีผลโดยตรงต่อความดันย่อยของก๊าซที่ใช้ในการหายใจ ส่งผลให้เกิดการตอบสนองของร่างกายโดยเฉพาะระบบหายใจ นักดำน้ำอาชีพต้องปฏิบัติงานใต้น้ำอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน อาจได้รับผลกระทบจนก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพปอด จึงควรได้รับการตรวจสุขภาพทั้งก่อนเริ่มปฏิบัติงานและตรวจสุขภาพประจำปีเพื่อประเมินความพร้อมในการปฏิบัติงาน จากการศึกษาระยะยาวพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพปอดของนักดำน้ำอาชีพ แต่ยังคงเป็นที่ถกเถียงกันเรื่องทิศทางของการเปลี่ยนแปลงของค่า FVC และ FEV_1 ว่าจะเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ในขณะที่ค่า FEV_1% กลับมีแนวโน้มที่ลดลงถึงร้อยละ 2 ใน 5 ปี บ่งบอกว่าอาจเกิดการกักเก็บของอากาศในปอด นอกจากนี้ยังพบการลดลงของ $FEF_{25-75\%}$ ในช่วง 23 - 146 มิลลิลิตรต่อปี ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่านักดำน้ำอาจมีโรคของหลอดลมขนาดเล็กร่วมด้วย การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวถือเป็นความเสี่ยงต่อการเกิดการบาดเจ็บของปอดจากการเปลี่ยนแปลงความดันได้

คำสำคัญ : การดำน้ำ นักดำน้ำอาชีพ สมรรถภาพปอด ตรวจสุขภาพ

* Resident in Preventive Medicine (Maritime Medicine), Naval Medical Department, Royal Thai Navy

** Graduate student in Health Research and Management Program, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University. E-mail: friendorus@docchula.com

*** Professor, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University. E-mail: psithisarankul@gmail.com

Abstract

Diving may cause a number of adverse effects on health. Divers should strictly follow the rules to ensure their safety and avoid any possible adverse outcomes. The in-water hyperbaric environment directly affects partial pressure of the breathing gas, which results in changes of body systems, in particular respiratory system. Professional divers who work under hyperbaric conditions for a lengthy period may experience substantial effect to change their lung function. Pre-placement and periodic health examinations are essential to evaluate their readiness to work. Recent evidences about changes of lung function in Forced Vital Capacity (FVC) and Forced Expiratory Volume in 1st second (FEV_1) are still inconclusive. Nevertheless, most studies demonstrate a slight depletion, 2% over 5 years, in FEV_1/FVC ratio (FEV_1%) which might suggest air trapping in divers' lungs. Furthermore, maximum mid-expiratory flow ($FEF_{25-75\%}$) significantly decreases between 23 to 146 ml/year, which reflects possibility of small airway diseases in divers. The findings raise the concern of increasing risks of pulmonary barotrauma in divers.

Keywords : diving, professional diver, lung function, medical examination

บทนำ

ปัจจุบันการดำน้ำเป็นได้ทั้งกิจกรรมเพื่อสันทนาการและการประกอบอาชีพ การดำน้ำสันทนาการ คือ การดำน้ำเพื่อการพักผ่อนซึ่งนักดำน้ำทุกคนต้องผ่านการอบรมเพื่อให้ดำน้ำอย่างปลอดภัย เนื่องจากการดำน้ำสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ ส่วนการดำน้ำอาชีพ คือ การดำน้ำที่นำมาซึ่งรายได้ การดำน้ำอาชีพแบ่งได้ตามประเภทของงาน เช่น การดำน้ำเพื่อการเก็บกู้ซากเรือดำน้ำ การดำน้ำเพื่อการวางสายใต้น้ำ การดำน้ำเพื่อการศึกษาทางโบราณคดี ซึ่งต้องผ่านการอบรมที่แตกต่างกันตามลักษณะงาน เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่มีความเสี่ยงสูง[1]

นักดำน้ำอาชีพซึ่งต้องปฏิบัติงานใต้น้ำเป็นประจำ มีโอกาสที่จะสัมผัสสิ่งแวดล้อมรอบตัวที่เปลี่ยนแปลงไป โดยที่ความลึกของน้ำทะเลทุก 10 เมตร ความดันโดยรอบจะเพิ่มขึ้น 1 บรรยากาศ หรือเป็น 2 เท่าของความดันบรรยากาศมาตรฐาน เป็นผลจากความดันน้ำที่เพิ่มขึ้น[2] เมื่อความดันโดยรอบร่างกายสูงขึ้นจะส่งผลให้ระบบหายใจของนักดำน้ำมีการตอบสนองต่อความดันที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นหากสมรรถภาพปอดของนักดำน้ำผิดปกติจะส่งผลให้เกิดอันตรายกับนักดำน้ำในขณะปฏิบัติงานได้ บทความนี้เป็นการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของความดันบรรยากาศสูงต่อสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำอาชีพ โดยอธิบายเกี่ยวกับสรีรวิทยาของการดำน้ำกับระบบหายใจ ความสำคัญของการตรวจสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำ และผลกระทบระยะยาวของการดำน้ำกับสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำอาชีพ รวมถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ข้อเสนอแนะในการดูแลสุขภาพของนักดำน้ำ

สรีรวิทยาของการดำน้ำกับระบบหายใจ

สภาวะแวดล้อมที่มีความดันบรรยากาศสูง จะส่งผลให้ระบบหายใจต้องทำงานมากขึ้น หลอดลมมีความต้านทานสูงขึ้น นักดำน้ำจึงต้องใช้แรงมากขึ้นในการขยับของทรวงอก ซึ่งการตอบสนองดังกล่าวสามารถเกิดได้ทั้งจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับความดัน[3,4] อากาศที่นักดำน้ำใช้หายใจจะเป็นอากาศที่ถูกอัดในขวดอากาศ ซึ่งจะมีความหนาแน่นสูงขึ้นเมื่ออยู่ใต้น้ำ เพราะความดันที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาตรลดลง อากาศจึงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อนักดำน้ำหายใจด้วยอากาศที่มีความหนาแน่นสูงนี้ จะส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของความต้านทานของหลอดลม (Airway resistance) นักดำน้ำจึงใช้แรงในการหายใจมากขึ้น[3]

อากาศที่ใช้หายใจในภาวะปกติ ประกอบด้วย ก๊าซออกซิเจนประมาณร้อยละ 21 และก๊าซไนโตรเจนประมาณร้อยละ 78 ก๊าซดังกล่าวสามารถทำให้เกิดอันตรายได้เมื่อหายใจในสภาวะใต้น้ำ โดยความดันย่อยของก๊าซที่ใช้ในการหายใจจะสูงขึ้นเมื่อความดันโดยรอบร่างกายเพิ่มขึ้นตามกฎของดาลตัน[2] ตัวอย่างเช่น นักดำน้ำที่หายใจด้วยอากาศอัดที่ระดับความลึกของน้ำทะเล 40 เมตร ความดันย่อยของก๊าซออกซิเจนจะมีค่าเท่ากับการหายใจด้วยก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ที่ระดับน้ำทะเล เมื่อความดันย่อยของก๊าซออกซิเจนสูงขึ้นจนเกิดภาวะออกซิเจนในเลือดสูง ส่งผลให้มีการเพิ่มของภาวะเครียดจากการออกซิเดชัน (Oxidative stress) และเกิดภาวะอักเสบของทางเดินหายใจได้[4] ขณะที่นักดำน้ำอยู่ใต้น้ำ ก๊าซไนโตรเจนจะเกิดการอิ่มตัวในเนื้อเยื่อต่างๆ ของนักดำน้ำ และในขณะที่นักดำน้ำขึ้นสู่ผิวน้ำ ก๊าซไนโตรเจนที่อิ่มตัวอยู่ในเนื้อเยื่อจะถูกขับออกในรูปของฟองก๊าซขนาดเล็กในหลอดเลือดดำ (Venous gas microemboli) ฟองก๊าซดังกล่าวจะถูกส่งไปยังปอดเพื่อขับออกผ่านระบบหายใจ ฟองก๊าซไนโตรเจนนี้สามารถก่อให้เกิดการลดลงของความสามารถในการแลกเปลี่ยนก๊าซ (Diffusion capacity) กระตุ้นให้เกิดภาวะอักเสบกับเนื้อเยื่อปอดและเพิ่มความดันในหลอดเลือดแดงใหญ่ของปอดได้ (Pulmonary hypertension)[4]

ปัจจัยอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับความดันซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระบบหายใจได้ คือ การตอบสนองของร่างกายเมื่อแช่อยู่ในน้ำ (Water immersion) และการที่อุณหภูมิร่างกายเปลี่ยนแปลงเมื่ออยู่ใต้น้ำ โดยการตอบสนองของร่างกายเมื่อแช่อยู่ในน้ำ ส่งผลให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือดส่วนปลาย ทำให้เลือดในส่วนของแขนและขาไหลไปรวมกันที่ช่องอก ปริมาตรของเลือดในช่องอก (Intrathoracic blood volume) จึงสูงขึ้น ส่งผลให้ cardiac output และ central venous pressure สูงขึ้น เมื่อเลือดไหลเข้าปอดมากขึ้น ปริมาตรของอากาศในปอดจะลดลง ความสามารถในการขยายของปอดลดลง ในขณะที่ความต้านทานของหลอดลมสูงขึ้น[4,5] นักดำน้ำจะมีอุณหภูมิร่างกายที่ลดลงจากการสูญเสียความร้อน เนื่องจากน้ำมีการนำความร้อนและพาความร้อนบริเวณรอบร่างกาย นักดำน้ำจะเริ่มเกิดอาการสั่นเมื่ออุณหภูมิของน้ำต่ำกว่า 21 องศาเซลเซียส ทำให้หลอดเลือดส่วนปลายหดรัดตัว เลือดจะไหลไปยังทรวงอกมากขึ้น นักดำน้ำจะหายใจเร็วขึ้น ส่งผลให้ร่างกายไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ[6]

ภาวะเหล่านี้จะเกิดร่วมกันเมื่อนักดำน้ำปฏิบัติงานใต้น้ำ แต่มักไม่ค่อยแสดงอาการทางปอดที่ผิดปกติเนื่องจากนักดำน้ำไม่ได้ดำน้ำบ่อยครั้ง

ยกเว้นการเกิดภาวะปอดบวมน้ำ (Pulmonary edema) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้แม้จะดำน้ำเพียงครั้งเดียว[7] แต่เมื่อนักดำน้ำใช้ระยะเวลาในการอยู่ใต้น้ำที่นานหรือมีจำนวนครั้งในการดำน้ำที่มาก โดยเฉพาะในนักดำน้ำอาชีพ ก็อาจส่งผลกระทบระยะยาวต่อการทำงานของปอดได้[4] ซึ่งพบว่าเมื่อร่างกายสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมที่ความดันบรรยากาศสูงเป็นระยะเวลาหลายปีจะมีแนวโน้มที่ทำให้สมรรถภาพปอดเปลี่ยนแปลงไป[8]

ความสำคัญของการตรวจสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำ

ปริมาตรของก๊าซจะแปรผกผันกับความดันตามกฎของบอยล์[6] เมื่อมีการลดความดันก๊าซเหล่านี้จะขยายขนาดขึ้น ซึ่งปอดเป็นอวัยวะที่มีก๊าซสะสมอยู่มากที่สุดในร่างกาย การเปลี่ยนแปลงความดันที่เกิดจากการดำน้ำ จึงมีผลกระทบต่อก๊าซในปอดมากที่สุด โดยโรคในกลุ่มอาการปอดพองเกิน (Pulmonary overinflation syndromes) เป็นกลุ่มอาการที่เกิดจากการบาดเจ็บของปอดจากการเปลี่ยนแปลงความดัน (Pulmonary barotrauma) ในขณะที่นักดำน้ำขึ้นสู่ผิวน้ำ โรคนี้เกิดขึ้นเมื่อความดันโดยรอบร่างกายลดลง อากาศเกิดการขยายตัว โดยการขยายตัวที่มากเกินจะเกิดเมื่อมีอากาศถูกกักไว้ในปอด อาจเกิดจากการกลั้นหายใจ หรือพยาธิสภาพภายในปอดที่มีการอุดกั้นของทางเดินหายใจ เช่น โรคหอบหืด การอุดตันของเสมหะในผู้ที่มีปอดอักเสบ หรือสาเหตุอื่นๆ ส่งผลให้เกิดการฉีกขาดของถุงลมขนาดเล็กในปอด ซึ่งโรคนี้มักจะพบบ่อยในนักดำน้ำที่มีการขึ้นสู่ผิวน้ำฉุกเฉิน หรือการขึ้นสู่ผิวน้ำที่เร็วกว่าที่ควร[9]

โรคในกลุ่มอาการปอดพองเกิน ได้แก่ ภาวะโพรงเยื่อหุ้มปอดมีอากาศ (Pneumothorax) ภาวะลมรั่วในช่องอก (Pneumomediastinum) ภาวะลมรั่วในเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง (Subcutaneous emphysema) หรือภาวะฟองก๊าซอุดตันในหลอดเลือดแดง (Arterial gas embolism) ซึ่งนำไปสู่การเกิดโรคสมองขาดเลือดหรือกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดได้[6] นักดำน้ำอาชีพจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสมรรถภาพปอดทั้งก่อนเริ่มปฏิบัติงานและตรวจประจำปี เพื่อประเมินความสามารถในการออกแรงใต้น้ำและหาลักษณะของการอุดกั้นของทางเดินหายใจเพื่อป้องกันการบาดเจ็บของปอดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดัน[10,11] โดยการประเมินความพร้อมของสุขภาพปอดในนักดำน้ำเริ่มต้นตั้งแต่การสอบถามประวัติเกี่ยวกับอาการของโรคทางเดินหายใจและปอด ประวัติโรคประจำตัวเกี่ยวกับปอดตั้งแต่เด็กจนถึงปัจจุบัน การได้รับบาดเจ็บที่ทรวงอก รวมถึงประวัติการเคยเป็นโรคโพรงเยื่อหุ้มปอดมีอากาศ จากนั้นมีการตรวจร่างกายทางระบบหายใจโดยแพทย์ การตรวจสมรรถภาพปอดเบื้องต้น โดยจำเป็นต้องมีการตรวจค่า FEV_1 (Forced Expiratory Volume in 1st second หรือปริมาตรอากาศสูงสุดใน 1 วินาทีแรก ที่ได้จากการหายใจออกอย่างรวดเร็วและแรงที่สุด) ค่า FVC (Forced Vital Capacity หรือปริมาตรอากาศสูงสุด ที่ได้จากการหายใจออกอย่างเร็วและแรงที่สุด) ค่า PEF (Peak Expiratory Flow หรืออัตราการไหลของอากาศสูงสุด ที่ได้จากการหายใจออกอย่างเร็วและแรงที่สุด) โดยเกณฑ์ปกติของค่า FEV_1 และ PEF ควรจะมากกว่าร้อยละ 80 ของค่าคาดคะเน และค่า FEV_1% (อัตราส่วนของค่า FEV_1 ต่อ FVC) ควรมากกว่าร้อยละ 70 ส่วนการถ่ายภาพรังสีทรวงอกจะทำเฉพาะในนักดำน้ำเพื่อการประกอบอาชีพเท่านั้น สำหรับนักดำน้ำทั่วไปอาจไม่มีความจำเป็น โดยเฉพาะในคนที่ไม่มีอาการของโรคทางเดินหายใจ

และปอดและประวัติและการตรวจร่างกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ ซึ่งผู้ที่เคยป่วยด้วยโรคโพรงเยื่อหุ้มปอดมีอากาศที่เกิดขึ้นเอง (Spontaneous pneumothorax) จะไม่ได้รับอนุญาตให้ดำน้ำจนกว่าจะได้รับการรักษาด้วยการเชื่อมเยื่อหุ้มปอดแล้ว[10] ในประเทศไทยโรคปอดอุดกั้นหรือเรื้อรัง โรคหืดหอบ โรคถุงลมโป่งพอง โรคโพรงเยื่อหุ้มปอดมีอากาศ และโรคของปอดที่มีโพรงหรือถุงอากาศภายในเนื้อปอด เป็นโรคที่เป็นข้อห้ามทำงานประดาน้ำ ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน[12]

ผลกระทบระยะยาวของการดำน้ำกับสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำอาชีพและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาส่วนใหญ่เกี่ยวกับผลกระทบระยะยาวของการดำน้ำ จะให้ความสำคัญกับนักดำน้ำอาชีพเป็นหลัก เนื่องจากนักดำน้ำอาชีพมักจะใช้ระยะเวลาอยู่ใต้น้ำนาน ความลึกในการดำน้ำที่ลึกกว่าปกติ จำนวนครั้งในการดำน้ำมาก หรือลักษณะก๊าซที่ใช้ในการหายใจแตกต่างไปจากนักดำน้ำเพื่อสันทนาการ มีบันทึกว่านักดำน้ำอาชีพปฏิบัติงานอยู่ใต้น้ำนานที่สุดถึง 74 วัน และดำน้ำลึกที่สุดที่ 534 เมตร[13] ในปัจจุบันการศึกษาเรื่องสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำอาชีพเป็นเรื่องที่ยังไม่มีข้อสรุปแน่ชัด โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรของสมรรถภาพปอด พบว่า มีหลายการศึกษาที่ผลของการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำแตกต่างกัน ในการศึกษาระยะยาวจะใช้ระยะเวลาติดตามผลตั้งแต่ 1 - 12 ปี โดยที่ส่วนใหญ่ติดตามอยู่ที่ประมาณ 5 ปี ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 เนื่องจากนักดำน้ำอาชีพมักจะต้องได้รับการตรวจร่างกายประจำทุกปี

มีการศึกษา พบว่า นักดำน้ำจะมีปริมาตรความจุปอดที่มากเมื่อเทียบกับประชากรทั่วไป (ค่า FVC สูงกว่าร้อยละ 100 ของค่าคาดคะเน) ซึ่งเชื่อว่าเกิดจากการที่นักดำน้ำจำเป็นต้องมีความพร้อมของร่างกายที่สมบูรณ์ (Healthy worker effect) มากกว่าผลจากการปรับตัวของนักดำน้ำเนื่องจากการฝึกฝน (Adaptation due to training effect of diving)[14,15] ส่วนผลของการเปลี่ยนแปลงสมรรถภาพปอดนั้นยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ โดยมีเพียง 3 การศึกษาที่รายงานว่าเมื่อติดตามไปจนถึงช่วงระยะเวลาหนึ่ง ค่า FVC เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 73 มิลลิลิตรต่อปี หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.68 ของค่าคาดคะเนต่อปี[16-18] และค่า FEV_1 เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 76 มิลลิลิตรต่อปี หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.60 ของค่าคาดคะเนต่อปี[17,18] แม้ว่าค่า FVC และค่า FEV_1 จะเพิ่มขึ้น แต่ค่าอัตราส่วนของ FEV_1 ต่อ FVC (FEV_1%) กลับมีค่าลดลง อาจเป็นผลมาจากที่ค่า FEV_1 ที่เพิ่มขึ้นไม่เท่ากับการเพิ่มขึ้นของค่า FVC[17] การลดลงนี้อาจเป็นผลมาจากการหายใจด้วยก๊าซที่มีความหนาแน่นสูงทำให้ความต้านทานของทางเดินหายใจเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการลดลงนี้บ่งบอกว่านักดำน้ำอาจมีการจำกัดการไหลของอากาศในหลอดลม (Airflow limitation) หรือมีการกักเก็บของอากาศในถุงลม (Air trapping) จึงเป็นการเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดการบาดเจ็บของปอดจากการเปลี่ยนแปลงความดัน และลดความสามารถในการออกแรงขณะดำน้ำ จากแนวโน้มที่ค่า FEV_1% ลดลงนี้อาจทำให้นักดำน้ำต้องเข้ารับการตรวจเพื่อประเมินหาโรคปอดอุดกั้น (Obstructive lung disease) เพิ่มเติม[10]

ในทางกลับกันหลายการศึกษา พบว่า มีการลดลงของค่า FVC และ FEV_1 ที่มากกว่าการลดลงตามอายุ โดยที่ค่า FVC ลดลงอยู่ในช่วง 22 - 60 มิลลิลิตรต่อปี[19,20] ค่า FEV_1 ลดลงอยู่

ในช่วง 28 - 73 มิลลิลิตรต่อปี[15,19,21,22] และพบว่าค่า $FEF_{25-75\%}$ มีค่าลดลงอยู่ในช่วง 23 - 146 มิลลิลิตรต่อปี ถึงแม้ว่าค่า $FEF_{25-75\%}$ จะแปรปรวนไปตามค่าของ FVC อยู่ค่อนข้างมาก แต่ก็พบว่าลดลงมากเมื่อเทียบกับการลดลงของค่า FVC ซึ่งค่า $FEF_{25-75\%}$ บ่งบอกว่าอาจมีพยาธิสภาพที่เปลี่ยนแปลงไปของหลอดลมขนาดเล็กที่เป็นผลจากการดำน้ำ[15,16,19,21,23]

การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพปอดและข้อมูลการดำน้ำ พบว่า การศึกษาส่วนใหญ่ไม่มีความสัมพันธ์กัน ยกเว้นมีเพียงบางการศึกษาเท่านั้นที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนครั้งในการดำน้ำ[18,19,23] หรือความลึกสูงสุดในการดำน้ำ[24] จึงเป็นที่น่าสนใจว่าการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพปอดนี้เป็นผลมาจากการดำน้ำหรือไม่ โดยข้อมูลการดำน้ำที่แต่ละการศึกษามีการเก็บรวบรวม ได้แก่ จำนวนครั้งในการดำน้ำก่อนการศึกษา จำนวนครั้งในการดำน้ำระหว่างการศึกษา ความลึกเฉลี่ยและความลึกสูงสุดในการดำน้ำ ระยะเวลาเฉลี่ยในการดำน้ำแต่ละครั้ง ระยะเวลาสะสมทั้งหมดในการดำน้ำ ซึ่งโดยปกตินักดำน้ำจะมีสมุดบันทึกข้อมูลการดำน้ำประจำตัว

การศึกษาที่ยาวนานที่สุดเป็นการศึกษาของ Skogstads และคณะ[15,19,23] เป็นการศึกษาในรูปแบบ Prospective cohort โดยทำการศึกษาในนักดำน้ำอาชีพเริ่มต้น 87 คน เปรียบเทียบกับกลุ่มเปรียบเทียบอาชีพตำรวจ แล้วศึกษาติดตามไปข้างหน้าที่ระยะเวลา 1 ปี 3 ปี 6 ปี และ 12 ปี ในการศึกษาที่ 12 ปี เหลือนักดำน้ำที่ยังอยู่ในการศึกษา 37 คน พบว่า ผลการตรวจสมรรถภาพปอดแรกเริ่มของนักดำน้ำมีค่า FVC ที่มากกว่าค่าคาดคะเน คล้ายกับการศึกษาอื่นๆ ที่กล่าวว่านักดำน้ำมีปริมาตรความจุปอดมากกว่าประชากรทั่วไป และเมื่อติดตามไปที่ 3 ปี พบว่า ค่า FEV_1 และค่า $FEF_{25-75\%}$ มีค่าลดลง แต่ค่า FVC ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเริ่มต้น อย่างไรก็ตามเมื่อติดตามไปที่ 6 ปี พบว่า ค่า FVC และค่า FEV_1 ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มเปรียบเทียบ โดยที่ค่า $FEF_{25\%}$ และ $FEF_{75\%}$ มีค่าลดลงและสัมพันธ์กับผลรวมของจำนวนครั้งในการดำน้ำ นอกจากนี้เมื่อติดตามไปที่ 12 ปี พบว่า ค่า FVC FEV_1 และค่า $FEF_{25-75\%}$ ลดลง โดยที่ค่า $FEF_{25-75\%}$ เท่านั้นที่ลดลงโดยสัมพันธ์กับจำนวนครั้งในการดำน้ำ

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ระบบหายใจของนักดำน้ำมีการตอบสนองต่อสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างไปจากปกติ โดยเฉพาะเรื่องความดันที่เพิ่มขึ้น ผลของการตอบสนองนี้ส่งผลต่อระบบหายใจซึ่งต้องทำงานหนักขึ้น ความต้านทานของหลอดลมสูงขึ้น นักดำน้ำต้องใช้แรงในการหายใจมากขึ้น และเมื่อใช้การทดสอบสมรรถภาพปอดในการประเมินผลนี้ พบว่า ยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนสำหรับการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพปอด แต่ก็มีแนวโน้มที่นักดำน้ำอาจเป็นโรคปอดอุดกั้นได้ในอนาคต ซึ่งอาจส่งผลเสียแก่นักดำน้ำได้

กรมแพทย์ทหารเรือ เป็นหน่วยงานหลักของรัฐบาลที่ดูแลเกี่ยวกับการตรวจสุขภาพนักดำน้ำและผู้ปฏิบัติงานในห้องปรับแรงดันบรรยากาศสูง แพทย์เวชศาสตร์ใต้น้ำผู้ที่ออกใบรับรองแพทย์สำหรับนักดำน้ำ ควรมีการเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงผลการตรวจสุขภาพของนักดำน้ำที่มารับการตรวจ เนื่องจากปัจจุบันการตรวจสุขภาพจะมุ่งเน้นไปที่การตรวจเพื่อหาข้อห้ามสำหรับการดำน้ำในผู้ที่จะดำน้ำ ต่อจากนี้แพทย์ควรต้องพิจารณาถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงผลการตรวจสมรรถภาพปอดด้วย เพื่อป้องกันการเกิดโรคในนักดำน้ำและการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพปอดอย่างถาวร

แนวทางการศึกษาต่อในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำในอนาคตของประเทศไทย

1. วิพากษ์งานวิจัยเกี่ยวกับข้อเด่น (Strength) ของแต่ละการศึกษาในเรื่องของสมรรถภาพปอดที่เปลี่ยนแปลงในนักดำน้ำอาชีพ

2. วิเคราะห์อภิมาน (Meta-analysis) เกี่ยวกับสมรรถภาพปอดที่เปลี่ยนแปลงในนักดำน้ำอาชีพ โดยคัดเฉพาะการศึกษาที่มีคุณภาพที่ดีเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำอาชีพอย่างเป็นระบบ

3. ศึกษาติดตามเกี่ยวกับสมรรถภาพปอดที่เปลี่ยนแปลงไปในผู้ที่ปฏิบัติงานใต้น้ำเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในประชากรไทย และเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้สัมผัสปัจจัยที่มีแรงดันบรรยากาศสูงโดยขจัดตัวกวนหลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมรรถภาพปอด พร้อมทั้งหาความสัมพันธ์ของลักษณะงานกับการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพปอด

4. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพปอดในผู้ที่ปฏิบัติงานในห้องปรับแรงดันบรรยากาศสูงเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ปฏิบัติงานใต้น้ำเพื่อสังเกตและพิจารณาถึงความแตกต่างของสมรรถภาพปอดที่อาจไม่ได้สัมพันธ์เฉพาะความดันที่เปลี่ยนแปลงไปเท่านั้น แต่อาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่นด้วย

5. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำสันทนาการที่ดำน้ำเป็นประจำ เนื่องจากนักดำน้ำกลุ่มนี้ไม่ได้รับการตรวจสุขภาพประจำปีเพื่อประเมินความพร้อมในการดำน้ำ

ตารางที่ 1 การศึกษาระยะยาวของสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำ

ผู้แต่ง (ปีที่พิมพ์) รูปแบบการศึกษา ประเทศที่ศึกษา	ประเภทและขนาดตัวอย่าง	กลุ่มเปรียบเทียบ	สูบบุหรี่ (%)	อายุ ปี (SD)	ปีที่ติดตาม	FVC (ลิตร)	FVC in % predicted	FEV_1 (ลิตร)	FEV_1 in % predicted	FEV_1 % (%)	$FEF_{5-75\%}$ (ลิตร/วินาที	$FEF_{25-75\%}$ in % predicted	ผลการศึกษา และความสัมพันธ์ (+) เพิ่มขึ้น (-) ลดลง
Watt[20]	Commercial	ก่อนและหลัง	34.8	30	3-4	5.56	117	4.51	115	81.4	ไม่มี	ไม่มี	• (-) FVC
(1985) Retrospective	divers	การศึกษา		พิสัย 22-45		-0.24#	-3#	-0.12#	0	+1.4**	ข้อมูล	ข้อมูล	• (-) FEV_1
longitudinal	กลุ่มที่ 1 : 224					-0.06/ปี	-0.75/ปี	-0.04/ปี		+0.35			(ยกเว้น FEV_1ในกลุ่มที่1)
United Kingdom	กลุ่มที่ 2 : 123									/ปี			• FVC ลดลงเร็วกว่าการ
			33.3	33	5-9	5.57	119	4.49	116	80.9	ไม่มี	ไม่มี	ลดลงของค่าคาดคะเน
				พิสัย 23-45		-0.40#	-6#	-0.27#	-3#	+1	ข้อมูล	ข้อมูล	• FVC เริ่มต้นมากกว่าค่า
						-0.04/ปี	-0.67/ปี	-0.03/ปี	-0.33/ปี	+0.11			คาดคะเน
										/ปี			• FVC ที่ลดลง สัมพันธ์กับ
													ค่า FVC เริ่มต้น
													• ไม่พบความสัมพันธ์กับ
													ข้อมูลการดำน้ำอื่น

*p < .05, **p < .01, #p < .001

FVC - Forced Vital Capacity, FEV_1 - Forced Expiratory Volume in 1 second, FEV_1% - FEV1/FVC ratio, $FEF_{25-75\%}$ - Forced Expiratory Flow at 25 - 75% of volume

ตารางที่ 1 การศึกษาระยะยาวของสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำ (ต่อ)

ผู้แต่ง (ปีที่พิมพ์) รูปแบบการศึกษา ประเทศที่ศึกษา	ประเภทและขนาดตัวอย่าง	กลุ่มเปรียบเทียบ	สูบบุหรี่ (%)	อายุ ปี (SD)	ปีที่ติดตาม	FVC (ลิตร)	FVC in % predictd	FEV_1 (ลิตร)	FEV_1 in % predicted	FEV_1% (%)	$FEF_{25-75\%}$ (ลิตร/วินาที)	$FEF_{25-75\%}$ in % predicted	ผลการศึกษา และความสัมพันธ์ (+) เพิ่มขึ้น (-) ลดลง
Thorsen[21] (1993) Prospective cohort Norway	24 deep saturation divers (300-450 ม.)	เปรียบเทียบกันเองใน 2 กลุ่ม	21	30.3 (4.5)	4	-0.080 -0.02/ปี	106	-0.294# -0.073/ปี	101	ไม่มีข้อมูล	-0.584# -0.146/ปี	85	• (-) $FEV_{1\backslash}$ • (-) $FEF_{25-75\%}$ • FEV_1 ลดลง 210 มล. อย่างมีนัยสำคัญเฉพาะในปีแรก • FVC เริ่มต้นมากกว่าค่าคาดคะเน • ไม่พบความสัมพันธ์กับข้อมูลการดำน้ำ
	28 commercial saturation divers (70-150 ม.)		25	31.1 (4.5)	3	-0.012/ปี	104	-0.035/ปี	97	ไม่มีข้อมูล	-0.104/ปี	82	

*p < .05, **p < .01, #p < .001

FVC – Forced Vital Capacity, FEV_1 - Forced Expiratory Volume in 1 second, FEV_1% - FEV1/FVC ratio, $FEF_{25-75\%}$ - Forced Expiratory Flow at 25 - 75% of volume

ตารางที่ 1 การศึกษาระยะยาวของสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำ (ต่อ)

ผู้แต่ง (ปีที่พิมพ์) รูปแบบการศึกษา ประเทศที่ศึกษา	ประเภทและขนาดตัวอย่าง	กลุ่มเปรียบเทียบ	สูบบุหรี่ (%)	อายุ ปี (SD)	ปีที่ติดตาม	FVC (ลิตร)	FVC in % predicted	FEV_1 (ลิตร)	FEV_1 in % predicted	FEV_1% (%)	$FEF_{25-75\%}$ (ลิตร/วินาที)	$FEF_{25-75\%}$ in % predicted	ผลการศึกษา และความสัมพันธ์ (+) เพิ่มขึ้น (-) ลดลง
Skogstad[15, 19, 23]	81	ก่อนและหลัง	36	25.2 (4.4)	3	6.26	>100*	5.17	>100*	ไม่มีข้อมูล	5.20	ไม่มีข้อมูล	• (-) FEV_1 (-) $FEF_{25-75\%}$
(2000)	professional	การศึกษา				+0.05		-0.1**			-0.37**		• FVC เริ่มต้นมากกว่าค่าคาดคะเน
Prospective	divers and					+0.017/ปี		-0.033/ปี			-0.123/ปี		• ไม่พบความสัมพันธ์กับข้อมูลการดำน้ำ
Longitudinal study	candidates												
(2002)	77	ก่อนและหลัง	42.9	24.9 (4.4)	6	6.23	ไม่มีข้อมูล	5.15	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	5.20	ไม่มีข้อมูล	• (-) FVC (-) FEV_1
Prospective cohort	professional	การศึกษาและ				-0.13*		-0.17*			-0.21*		• (-) $FEF_{25-75\%}$
	divers	64 non-smoking				-0.022/ปี		-0.028/ปี			-0.035/ปี		• $FEF_{25\%}$และ $FEF_{75\%}$ ที่ลดลงสัมพันธ์กับจำนวนครั้งในการดำน้ำ
		policemen											
(2008)	37	ก่อนและหลัง	29.7	24.6 (4.2)	12	6.16	ไม่มีข้อมูล	5.11	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	5.21	ไม่มีข้อมูล	• (-) FVC (-) FEV_1
Prospective cohort	professional	การศึกษา				-0.43*		-0.49*			-0.67*		• (-) $FEF_{25-75\%}$
Norway	divers					-0.036/ปี		-0.041/ปี			-0.056/ปี		• $FEF_{25-75\%}$ ที่ลดลงสัมพันธ์กับจำนวนครั้งในการดำน้ำ

*p < .05, **p < .01, #p < .001

FVC – Forced Vital Capacity, FEV_1- Forced Expiratory Volume in 1 second, FEV_1%- FEV1/FVC ratio, $FEF_{25-75\%}$- Forced Expiratory Flow at 25-75% of volume

ตารางที่ 1 การศึกษาระยะยาวของสมรรถภาพปอดในนักดำน้ำ (ต่อ)

ผู้แต่ง (ปีที่พิมพ์) รูปแบบการศึกษา ประเทศที่ศึกษา	ประเภทและขนาดตัวอย่าง	กลุ่มเปรียบเทียบ	สูบบุหรี่ (%)	อายุ ปี (SD)	ปีที่ติดตาม	FVC (ลิตร)	FVC in % predicted	FEV_1 (ลิตร)	FEV_1 in % predicted	FEV_1% (%)	$FEF_{25-75\%}$ (ลิตร/วินาที)	$FEF_{25-75\%}$ in % predicted	ผลการศึกษา และความสัมพันธ์ (+) เพิ่มขึ้น (-) ลดลง
Chong[17] (2008) Longitudinal retrospective Singapore	116 Navy divers	ก่อนและหลังการศึกษา	53.4	31.26 (5.34)	5	ไม่มีข้อมูล	86.1 +3.4** 0.68/ปี	ไม่มีข้อมูล	87.2 +3.0** +0.6/ปี	87 -2.0** -0.4/ปี	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	• (+) FVC • (+) FEV_1 • (-) FEV_1% • (+) PEF +10.9%** ไม่พบความสัมพันธ์กับข้อมูลการดำน้ำ
Sames[22] (2009) Longitudinal retrospective New Zealand	336 occupational divers	ก่อนและหลังการศึกษา	27.4	35.6 (8.6)	5.6	ไม่มีข้อมูล	-0.41 -0.07%/ปี	ไม่มีข้อมูล	-1.51* -0.27%/ปี	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	• (-) FEV_1 • (-) PEF -2.65%* • การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อาจเป็นผลมาจาก healthy worker effect

*p < .05, **p < .01, #p < .001

PEF - Peak Expiratory Flow, FVC - Forced Vital Capacity, FEV_1 - Forced Expiratory Volume in 1 second, FEV_1% - FEV1/FVC ratio, $FEF_{25-75\%}$ - Forced Expiratory Flow at 25 - 75% of volume

เอกสารอ้างอิง

1. Health and Safety Executive. HSE and diving. [Internet]. [cited 2017 November 17]. Available from: http://www.hse.gov.uk/diving/index.htm.
2. Edmonds C, Bennett M, Lippmann J, Mitchell S. Diving and subaquatic medicine: CRC Press; 2015.
3. Moon RE, Cherry AD, Stolp BW, Camporesi EM. Pulmonary gas exchange in diving. J Appl Physiol 2009;106:668-77.
4. Tetzlaff K, Thomas PS. Short- and long-term effects of diving on pulmonary function. Eur Respir Rev Eur Respir Rev 2017 Mar 29;26(143).
5. Hostler D, Pendergast DR. Long-term diving-related lung damage: an editorial perspective. Undersea Hyperb Med 2016;43(6):629-31.
6. United States Navy (U.S. Navy). U.S. Navy diving manual, Revision 7. SS521-AG-PRO-010. Washington, D.C: U.S. Government Printing Office; 2016.
7. Moon RE, Martina SD, Peacher DF, Potter JF, Wester TE, Cherry AD, et al. Swimming-induced pulmonary edema: pathophysiology and risk reduction with sildenafil. Circulation 2016;133(10):988-96.
8. Pougnet R, Pougnet L, Lucas D, Uguen M, Henckes A, Dewitte JD, et al. Longitudinal change in professional divers' lung function: literature review. Int Marit Health 2014;65(4):223-9.
9. Lafere P, Germonpre P, Balestra C. Pulmonary barotrauma in divers during emergency free ascent training: review of 124 cases. Aviat Space Environ Med 2009;80(4):371-5.
10. Health and Safety Executive. The medical examination and assessment of commercial divers (MA1). [Internet]. [cited 2017 October 31]. Available from: http://www.ndc.nl/downloadables/ma1.pdf.
11. UK Sport Diving Medical Committee. Medical conditions. [Internet]. [cited 2017 October 31]. Available from: http://www.ukdmc.org/medical-conditions/.
12. ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง โรคที่ห้ามทำงานประดาน้ำ พ.ศ. 2553. (1 ตุลาคม 2553). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 127 ตอนพิเศษ 115 ง. หน้า 36-7.
13. Comex SA. Centre d'Essais Hyperbares. 1965 - 2000; 36 years of deep diving and submarine techniques development. [Internet]. [cited 2017 November 18]. Available from: https://web.archive.org/web/20071013071223/http://www.comex.fr/suite/ceh/histo/historique%20CEH%20anglais.pdf.
14. Adir Y, Shupak A, Laor A, Weiler-Ravell D. Large lungs in divers: natural selection or a training effect? Chest 2005;128(1):224-8.

15. Skogstad M, Thorsen E, Haldorsen T. Lung function over the first 3 years of a professional diving career. Occup Environ Med 2000;57(6):390-5.
16. Konarski M, Klos R, Nitsch-Osuch A, Korzeniewski K, Prokop E. Lung function in divers. Adv Exp Med Biol 2013;788:221-7.
17. Chong SJ, Tan TW, Lim JY. Changes in lung function in Republic of Singapore Navy divers. Send to Diving Hyperb Med 2008;38(2):68-70.
18. Fitzpatrick DT, Conkin J. Improved pulmonary function in working divers breathing nitrox at shallow depths. Aviat Space Environ Med 2003;74(7):763-7.
19. Skogstad M, Thorsen E, Haldorsen T, Kjuus H. Lung function over six years among professional divers. Occup Environ Med 2002;59(9):629-33.
20. Watt SJ. Effect of commercial diving on ventilatory function. Br J Ind Med 1985;42(1):59-62.
21. Thorsen E, Segadal K, Kambestad BK, Gulsvik A. Pulmonary function one and four years after a deep saturation dive. Scand J Work Environ Health 1993;19(2):115-20.
22. Sames C, Gorman DF, Mitchell SJ, Gamble G. The long-term effects of compressed gas diving on lung function in New Zealand occupational divers: a retrospective analysis. Diving Hyperb Med 2009;39(3):133-7.
23. Skogstad M, Skare O. Pulmonary function among professional divers over 12 years and the effect of total number of dives. Aviat Space Environ Med 2008;79(9):883-7.
24. Davey IS, Cotes JE, Reed JW. Relationship of ventilatory capacity to hyperbaric exposure in divers. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol 1984;56(6):1655-8.