

수중에서 호흡운동이 뇌성마비 아동의 폐기능 및 최대발성시간에 미치는 영향

이제욱 · 황보각[†]

대구대학교 재활산업학과, ¹대구대학교 물리치료학과

Effects of Breathing Exercise in the Water on Pulmonary Function and Maximum Phonation Time of Children with Cerebral Palsy

Je-Wook Lee, PT, MS · Gak Hwangbo, PT, PhD[†]

Department of Rehabilitation Industry, Daegu University

¹Department of Physical Therapy, Daegu University

Received: May 8, 2019 / Revised: May 27, 2019 / Accepted: July 8, 2019

© 2019 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study examined the effects of breathing exercise in the water on the pulmonary function and maximum phonation time in children with cerebral palsy.

METHODS: The subjects were 24 children with cerebral palsy at GMFCS levels I -III, who were allocated randomly to either the aquatic breathing exercise group or general breathing exercise group 12 subjects per group. Each subject was required to complete 40 minutes of exercise twice a week for eight weeks. Those in the aquatic breathing exercise group performed aquatic breathing exercise, whereas those in the general breathing exercise group performed general aquatic exercise.

RESULTS: Significant differences in FEV₁, PEF, VC, TV, ERV, and maximum phonation time were observed in the aquatic breathing exercise group after intervention, but there were no significant differences in either FVC, FEV₁/FVC, IC, or IRV. In the general breathing exercise group, there were no significant differences in the FVC, FEV₁, FEV₁/FVC, PEF, VC, IC, TV, IRV, ERV, and maximum phonation time after intervention. In terms of the pulmonary function, the two groups showed a significant difference in the change in FEV₁, PEF, and TV after intervention, but not in the FVC, FEV₁/FVC, VC, IC, ERV, IRV, and maximum phonation time.

CONCLUSION: These results above show that aquatic breathing exercise training in water is more effective in improving the pulmonary function than general breathing exercise training.

[†]Corresponding Author : Gak Hwangbo

hbgak@daegu.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0001-9762-1820>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Key Words: Breathing exercise, Cerebral palsy, Maximum phonation time, Pulmonary function

I. 서론

뇌성마비는 태아 혹은 영아에서 비진행성 뇌손상으로 인한 신경학적 증상을 유발하는 질환으로 감각, 인지, 의사소통, 지각, 행동장애 및 경련 등으로 인한 기능적 활동과 일상생활의 제한을 초래하는 대표적인 소아 질환이다[1]. 의학의 발전으로 주산기 의료적 관리가 발달하고 제왕절개를 통한 분만이 증가함에 따라 분만 과정에서 발생할 수 있는 손상의 위험이 감소하고 정상 분만하는 경우가 많아졌으나 조산과 초저체중아로 출생하는 뇌성마비 고위험군의 생존율이 증가하고 있다. 실제 뇌성마비의 발생률은 과거보다 변화가 없거나 오히려 증가하는 추세를 보인다[2].

뇌성마비는 비정상적인 사지의 근력이나 조절과 반사, 근긴장도 이상, 비대칭적 자세변형, 비정상적인 흔들림, 균형장애 등이 나타나고, 이러한 기능적 장애가 영구적인 장애를 초래하여 운동조절의 어려움을 유발한다[3]. 이러한 운동장애는 보행과 같은 기능적 활동의 제한뿐 아니라, 비정상적인 호흡패턴을 유발하거나[4], 호흡기능의 어려움과 호흡기계 감염률, 사망률을 높이게 된다. 특히 재발성폐렴, 무기폐, 기관지확장증, 수면무호흡, 만성폐쇄성폐질환, 제한성폐질환 등의 호흡기능 장애의 높은 발생률과 사망률을 보인다[5-7].

뇌성마비 아동의 호흡문제는 뇌성마비 자체의 원인으로 발생하지는 않지만 불충분한 호흡근력으로 흉벽 구조의 변형과 감소한 흉벽의 움직임과 관련되어 있다[8]. 뇌성마비 아동의 호흡근력은 정상발달 아동보다 유의하게 낮으며 이는 소아장애 평가도구(Pediatric Evaluation Disability Inventory: PEDI)의 기능적 기술부분 중 신변처리와 사회적 기능영역에서 일상생활 기능에 대한 능력과 양의 상관관계가 있다[9].

호흡은 안정 시 호흡과 발성 시 호흡이 있다. 안정 시 호흡은 생명 유지를 위한 호흡으로 가스교환이 충분히 행하여지고 발성 시 호흡은 가스교환과 음성에너지 생산의 두 가지 작용을 한다[10]. 뇌성마비 아동의 비정상적인 자세조절과 비정상적인 근긴장도는 주동근과 길항근의 협력수축을 방해하고 이것은 발성하는 동안 호흡근 활동패턴에 영향을 미쳐 말을 산출하기

위한 들숨과 날숨의 유지 및 조절에 문제를 발생시킨다[11]. 연속적인 발성을 위해서는 충분한 들숨과 날숨이 필요하며 날숨시간이 들숨시간보다 길어야 발화산출을 자연스럽게 할 수 있다[10]. 호흡기능을 알아보기 위해 사용되는 방법 중에 하나가 최대발성시간의 측정이다[12]. 최대발성시간의 측정으로, 호기의 양과 지속시간을 파악하고 발화산출 지속력의 수준을 간접적으로 알아볼 수 있다.

수중운동은 뇌성마비 아동의 호흡기능을 향상하기 위한 중재 방법의 하나로 지상에서의 중재 방법이 가진 제한 점을 보완하고 부력, 점성, 수온, 정수압과 같은 수중환경의 특성으로 뇌성마비 재활에 유용하게 사용될 수 있다[13]. 부력은 참여자의 근육과 관절에 중력부담을 덜어주며 부상 및 통증을 예방하는 장점이 있다[14]. 물의 높은 밀도는 몸 전체에 저항을 부여함으로써 근지구력과 신체에너지 소비량을 증가시키고[15] 수온은 중추신경계 손상이 있을 때 나타나는 과긴장이나 경직을 감소하거나 이완시킨다[16]. 정수압은 외부수용기와 고유수용기를 광범위하게 자극하고 호흡근뿐만 아니라 폐와 다른 내장기관에 압력을 증가시킨다[17,18]. 정수압의 영향을 가장 많이 받는 것은 복부이며, 복부가 수압에 의해 압박을 받게 되면 내장이 가로막을 눌러 저절로 가로막 호흡이 촉진되는데 무의식적으로 숨을 쉬는 깊은 호흡을 하게 됨으로써 호흡과 관련된 근의 저항을 유도하여 폐기능의 향상을 가져온다[19]. 또한 수중에서 수행 가능한 옆드려 뜨고 일어서기, 잠수하기, 수영과 같은 여러 활동들은 호흡조절과 같은 선행 훈련이 필수적으로 이루어져야 하고 이러한 훈련들은 폐활량을 증가시킨다. 이처럼 수중운동은 전신운동으로 심폐기관 발달, 근긴장 완화와 근지구력 발달, 균형감각과 안정성 증진에 효과적이고[20,21] 뇌성마비 아동에게 심리적 안정과 새로운 경험에 대한 흥미를 유발해 오랜 시간 운동에 적극적으로 참여할 수 있게 한다[22].

뇌성마비 아동에게 물속에서 날숨 및 들숨근육을 강화하는 호흡운동과 보바스 치료법을 적용한 결과 평균 폐활량이 31% 증가하였다고 보고하였다[23]. Kim 등[24]은 경직성 뇌성마비 청소년 7명에게 11개의 동작으로 구성된 수중운동 프로그램을 주 4회 12주간 실시

하여 근지구력, 유연성, 평형성과 폐활량이 유의하게 증가하였다고 보고하였다. 또한, Retarekar 등[25]은 수중에서 유산소 운동이 5세 양하지마비 아동에게 근력과 균형능력, 보행패턴과 활동 시 에너지 효율에 긍정적인 영향을 미친다고 하였다.

현재 뇌성마비 아동의 호흡기능을 회복시키기 위한 여러 가지 연구와 운동 프로그램이 개발되어 이용되고 있다[19,26,27]. 선행 연구들은 중재 방법이 수영이나 수중 신체활동 트레이닝 혹은 아쿠아로빅, Halliwick method와 같이 특정한 수중치료법으로 조사되었고 걷기와 달리기, 게임 등과 같이 수중운동으로 혼합된 형태도 있었다[28]. 대부분의 연구는 수영과 같이 호흡조절과 신체활동 트레이닝을 결합한 상태에서 심폐기능 전후를 비교하였고 거품불기와 잠수와 같이 수중에서 호흡조절하며 운동하는 수중호흡운동과 얼굴침수 없이 공기 중에서 호흡하며 운동하는 일반호흡운동을 구분하여 폐기능과 최대발성시간을 비교 검정한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 수중에서 호흡운동이 뇌성마비 아동의 폐기능과 최대발성시간에 어떠한 영향을 미치는지 알아보려고 실시하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구에 참여한 대상자는 J도시에 소재한 D수중운동센터에서 수중운동을 받고 있는 5-13세 뇌성마비 아동을 대상으로 실시하였다. 대상자 선정기준은 1) 소아청소년과 전문의에 의해 뇌성마비로 진단받은 아동, 2) 1년 이내 보툴리눔 독소 주사법, 정형외과적 수술을 시행하지 않은 아동, 3) 뇌성마비 대운동기능 분류시스템(gross motor function classification system: GMFCS) 레벨이 I, II, III인 아동[29], 4) 물에 있는 것을 두려워하지 않고 최소 3개월 이상 물에 대한 적응기간을 거친 아동, 5) 최대발성시간을 측정하기 위해 최소 '나' 모음 발화가 가능하고 호흡기능을 평가하기 위해 연구자의 지시를 충분히 이해하고 수행할 수 있는 지적 능력이 있는 아동으로 선별하였다.

본 연구는 실험에 참여하기 전 연구 대상자 보호자에

게 연구목적과 방법에 대해 충분한 설명을 하고 자발적 동의를 얻어 대구대학교 생명윤리위원회에서 승인을 받고 실험을 진행하였다(승인번호 1040621-201807-HR-005-02).

연구 기간은 2018년 11월 5일부터 2018년 12월 28일까지 8주간 진행하였고 뇌성마비 아동 28명 중 무작위 배치방법으로 수중호흡운동군 14명, 일반호흡운동군 14명으로 나눈 후 주 2회, 40분간 실시하였다. 실험 초기에는 전체 28명을 대상으로 운동이 진행되었지만, 연구가 진행되는 동안 아동의 건강상 문제, 평가참여 문제 등으로 인해 4명이 탈락되어 최종적으로 수중호흡운동군 12명, 일반호흡운동군 12명으로 총 24명이 연구에 끝까지 참여하게 되었다(Fig. 1). 대상자의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1).

성별은 수중호흡운동군에서 남성 9명과 여성 3명이었고 일반호흡운동군에서 남성 10명 여성 2명이었다. 수중호흡운동군과 일반호흡운동군의 평균 나이는 각각 11.000 ± 2.984 세와 11.333 ± 3.725 세, 평균 키는 각각 134.683 ± 18.840 cm와 134.475 ± 24.097 cm, 평균 몸무게는 각각 35.816 ± 13.537 kg, 35.375 ± 14.640 kg을 나타냈고 신체침범 부위별 분류로는 수중호흡운동군에서 편마비형 1명, 양하지마비형 9명, 사지마비형 2명이었고 일반호흡운동군에서 편마비형 1명, 양하지마비형 10명, 사지마비형 1명이었다. 그리고 뇌성마비 대운동기능분류시스템(GMFCS: Gross Motor Function Classification System)으로 분류했을 때, 수중호흡운동군에서 1단계가 2명, 2단계가 7명, 3단계가 3명이었고 일반호흡운동군에서 1단계가 1명, 2단계가 7명, 3단계가 4명이었다. 연구 대상자의 일반적 특성에 대한 그룹 간 유의한 차이는 없었다(Table 1).

2. 실험절차

본 연구는 총 24명을 대상으로 하여 실험을 진행하였으며 사전 검사는 중재 전에 폐기능 검사로서 노력성폐활량(forced vital capacity: FVC), 1초간 노력성호기량(forced expiratory volume at one second: FEV₁), 1초간 노력성호기량의 노력성폐활량에 대한 비율(FEV₁/FVC), 최대호기속도(peak expiratory flow: PEF), 폐활량

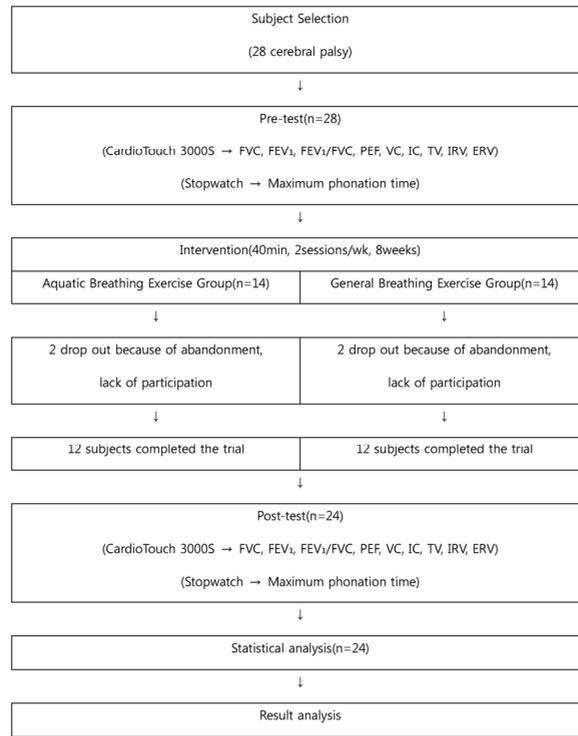


Fig. 1. Study flow chart

Table 1. General Characteristics of the Subjects (M±SD)

Value		ABE Group (n=12)	GBE Group (n=12)	p
Sex	Male	9 (75%)	10 (83.33%)	.338
	Female	3 (25%)	2 (16.67%)	
Age (years)		11.000±2.984	11.333±3.725	.125
Height (cm)		134.683±18.840	134.475±24.097	.161
Weight (kg)		35.816±13.537	35.375±14.640	.591
Type				
Hemiplegia		1	1	.400
Diplegia		9	10	
Quadriplegia		2	1	
GMFCS Level				
I		2	1	.804
II		7	7	
III		3	4	

Mean±SD: mean±standard deviation

GMFCS Level: gross motor function classification system level

ABE Group: aquatic breathing exercise group

GBE Group: general breathing exercise group

(vital capacity: VC), 들숨용량(inspiratory capacity: IC), 평상시 1회호흡량(tidal volume: TV), 들숨예비량(inspiratory reserve volume: IRV), 날숨예비량(expiratory reserve volume: ERV)을 측정하였고 10분간의 휴식시간을 가진 후 최대발성시간(maximum phonation time: MPT)을 측정하였다.

3. 실험방법

수중운동을 위한 풀 사이즈는 가로 3 m, 세로 4.2 m이고, 수심은 1.2 m와 .8 m로 구분되어있다. 수온은 33.5~34°C로 유지하였고 실내온도는 26~28°C로 유지하였다. 수중호흡운동군과 일반호흡운동군에서 중재한 수중운동 방법은 다음과 같다.

1) 수중호흡운동군

수중호흡운동군의 프로그램은 준비운동 5분, 본 운동 30분, 정리운동 5분으로 구성하여 주 2회 8주간 실시하였다. 준비운동은 스트레칭과 ROM운동으로 구성되고 본 운동은 포우치(호흡조절 기구로 불면 뒤집어짐) 불기, 탁구공 불기, 입으로 거품불기, 코로 거품불기, 잠수하여 고리잡기, 엎드린 자세에서 호흡조절하기, 서서 누워 뜨고 다시 일어서면서 호흡조절하기, 서서 옆드려 뜨고 다시 일어서면서 호흡조절하기 훈련을 시행하고 정리 운동은 스트레칭으로 마무리하였다. 운동강도는 운동자각도(ratings of perceived exertion: RPE) 12~16수준으로 하였으며 대운동기능 분류시스템 상 대

상자의 운동수준이 I, II, III으로 다양하여 각 대상자 상황에 맞게 적절한 보조가 이루어졌다. 수중호흡운동군의 프로그램은 Table 2와 같다.

2) 일반호흡운동군

일반호흡운동군의 프로그램은 준비운동 5분, 본 운동 30분, 정리운동 5분으로 구성하여 주 2회 8주간 실시하였다. 준비운동은 스트레칭과 ROM운동으로 구성되고 본 운동은 깊은 물에서 사이클링, 앉았다 일어서기(배꼽 깊이), 스텝 박스(높이 15 cm)위에 한발 올리고 내리기, 누들을 이용한 균형 조절 훈련, 양무릎 가슴으로 당기기, 앞으로 걷기, 옆으로 걷기 훈련을 시행하고 정리 운동은 스트레칭으로 마무리하였다. 운동강도는 운동자각도(ratings of perceived exertion: RPE) 12~16수준으로 하였으며 대운동기능 분류시스템 상 대상자의 운동수준이 I, II, III으로 다양하여 각 대상자의 상황에 맞게 적절한 보조가 이루어졌다. 일반호흡운동군의 프로그램은 Table 2와 같다.

4. 측정 방법

1) 폐기능 측정

본 연구에서 폐기능 검사의 측정을 위해 CardioTouch 3000S (CardioTouch 3000S, BIONET, KOREA)를 사용하여 앉은 자세에서 실시하였다. 아동의 협조와 검사방법에 따라 결과의 오류가 발생할 가능성이 높으므로 소아

Table 2. Description of the Aquatic Exercise Program

Section	Aquatic Breathing Exercise	General Breathing Exercise	Time	Intensity (RPE)
Warm-up	Stretching & ROM Exercise		5 min	12
Work out	1. Blowing Pouch and Ball	1. Cycling	30 min	12~16
	2. Mouth Bubbling	2. Sit to Standing		
	3. Nasal Bubbling	3. Step Box Training		
	4. Retrieving Rings	4. Noodle/balance Training		
	5. Breath Control in Prone Position	5. Knee to Chest		
	6. Breath Control and TRC	6. Walking		
	1) Stand→Supine Float→Stand	1) Forward Walking		
	2) Stand→Prone Float→Stand	2) Side Walking		
Cool-down	Stretching		5 min	12

물리치료 5년 이상의 경력자가 측정방법을 숙지하고 훈련한 뒤, 동일한 조건에서 3회 측정하여 그 중 가장 큰 측정값을 자료 분석에 활용하였다. 정확한 측정을 위해 측정하기 전에 아동에게 검사방법을 숙지할 수 있도록 반복적인 교육을 실시하였고 아동은 일회용 마우스피스를 공기가 새지 않도록 최대한 입술에 밀착시켜 물고 정면을 바라보며 ‘시작’ 신호를 기다리게 하였다. 측정하는 동안 검사자는 아동의 동기부여를 위해 말과 행동으로 독려하였다.

(1) 노력성폐활량(forced vital capacity: FVC)

폐기능 측정은 주로 노력성 호기 방법(forced expiratory maneuver)으로 측정된다. 이 측정은 4가지의 측정치; FVC, FEV₁, FEV₁/FVC, PEF가 기본이 되는 중요한 검사법이다[9]. 측정방법은 검사자가 ‘시작’이라는 신호를 하면 아동은 평상시 호흡으로 3회를 한 뒤, 가능한 최대로 공기를 들이마신 후 최대한 빠르고 강하게 공기를 불어 내는 방법으로 노력성 호기 곡선(maximal-effort expiratory spirogram)을 측정하여 FVC, FEV₁, FEV₁/FVC, PEF를 측정하였다. FVC로 제한성 환기장애의 유무를, FEV₁을 통해 폐쇄성 환기장애의 정도를, FEV₁/FVC를 이용하여 폐쇄성 환기장애의 유무를, PEF로 기도폐쇄 유무와 기도폐쇄 손상정도를 판단하였다[30].

(2) 느린폐활량(slow vital capacity: SVC)

느린폐활량 검사는 환기예비능력을 반영하는 지표로 VC, IC, TV, IRV, EVR가 기본이 되는 검사법이다. 측정방법은 적어도 4회 이상 평상시 호흡을 한 후, 4회 이상 평상 호흡이 감지되어 본체에서 ‘빠’ 소리가 나면 가능한 최대한 천천히 공기를 들이마신 후 최대한 천천히 공기를 불어 내는 방법으로 각 대상자의 VC, IC, TV, IRV, ERV를 측정하였다. IC는 본 측정 도구로 그 값이 표시되지 않아 TV+IRV 합을 계산하였다.

2) 최대발성시간 측정

호흡과 직접적인 연관이 있는 발성 평가는 여러 가지가 있으나 Duffy [31]가 제시한 최대연장 발성지속시간(maximum phonation time: MPT)인 ‘아’를 발음하였을

때의 시간을 측정하였다. 측정은 앉은 자세에서 최대 심호흡을 한 후에 검사자의 시작 명령과 함께, 가능한 편안한 목소리로 ‘아’ 소리를 최대한 오랫동안 발성하도록 지시하였다. 이때, 검사자는 iPhone에 내장되어 있는 Stop Watch(Stop Watch, iPhone 7, USA)를 이용하여 발성시간(초)을 측정하였고, 3회 측정하여 그 중 가장 큰 측정값을 자료 분석에 활용하였다.

5. 자료 분석

본 연구의 분석 방법은 IBM SPSS Statistics 20을 이용하여 대상자의 일반적 특성을 조사하고, 변수들의 정규성 검증을 위해 샤피로-윌크 검정(Shapiro-Wilk test)을 실시한 결과, 정규성을 만족하지 않아 수중호흡운동군과 일반호흡운동군 간의 훈련 전·후의 폐기능과 최대발성시간의 비교를 위해 윌콕슨 부호순위 검정(Wilcoxon signed rank test)으로 검정하였다. 폐기능과 최대발성시간에 있어 훈련 전·후 변화량에 대한 그룹 간 차이를 비교하기 위해 맨-휘트니 U 검정(Mann-Whitney U test)을 실시하였다. 통계학적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 하였다.

III. 연구결과

1. 폐기능의 변화 비교

1) 노력성폐활량(forced vital capacity: FVC)

(1) FVC 전·후 변화

FVC의 전·후 비교에서 수중호흡운동군은 사전값 1.613±1.014 l에서 사후값 1.966±1.148 l로 증가한 것으로 보이지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 일반호흡운동군은 사전값 1.761±1.143 l에서 사후값 1.682±.748 l로 감소한 것으로 보이지만 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 집단 간 주 효과검정에서 수중호흡운동군의 FVC 전·후 차이값은 .353±1.025 l, 일반호흡운동군은 -.079±.987 l로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3).

(2) FEV₁ 전·후 변화

FEV₁의 전·후 비교에서 수중호흡운동군은 사전값

Table 3. Comparison of the FVC during the Intervention in the ABE and GBE Groups

			ABE Group	GBE Group	WSR Z-value	WSR p-value
FVC(ℓ)	N		12	12		
	Mean Rank	NR	6.000	8.750		
		PR	6.750	5.380		
	Sum of Ranks	NR	24.000	35.000		
		PR	54.000	43.000		
	Pre		1.613±1.014	1.761±1.143	-924	.356
	Post		1.966±1.148	1.682±.748		
	Change between pre and post test		.353±1.025	-.079±.987		
	MWU Z-value		-1.177	-.314		
	MWU p-value		.239	.754		

WSR: Wilcoxon signed rank test

MWU: Mann-Whitney U test

NR: Negative Ranks

PR: Positive Ranks

FVC: forced vital capacity

ABE Group: aquatic breathing exercise group

GBE Group: general breathing exercise group

Table 4. Comparison of the FEV₁ during the Intervention in the ABE and GBE Groups

			ABE Group	GBE Group	WSR Z-value	WSR p-value
FEV ₁ (ℓ)	N		12	12		
	Mean Rank	NR	2.000	6.400		
		PR	7.400	6.570		
	Sum of Ranks	NR	4.000	32.000		
		PR	74.000	46.000		
	Pre		1.010±.478	1.441±.991	-2.109	.035*
	Post		1.481±.803	1.372±.716		
	Change between pre and post test		.470±.501	-.069±.625		
	MWU Z-value		-2.746	-.550		
	MWU p-value		.006**	.583		

WSR: Wilcoxon signed rank test

MWU: Mann-Whitney U test

NR: Negative Ranks

PR: Positive Ranks

FEV₁: forced expiratory volume at one second

ABE Group: aquatic breathing exercise group

GBE Group: general breathing exercise group

1.010±.478 ℓ에서 사후값 1.481±.803 ℓ로 증가하였고 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<.05). 일반호흡운동군은 사전값 1.441±.991 ℓ에서 사후값 1.372±.716 ℓ로 감소한 것으로 보이지만 통계적으로 유의한 차이가 없

었다. 집단 간 주 효과검정에서 수중호흡운동군의 FEV₁ 전·후 차이값은 .470±.501 ℓ, 일반호흡운동군은 -.069±.625 ℓ로 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<.05) (Table 4).

Table 5. Comparison of FEV₁/FVC during the Intervention in the ABE and GBE Groups

			ABE Group	GBE Group	WSR Z-value	WSR p-value
	N		12	12		
Mean Rank	NR		6.290	7.000		
	PR		5.500	4.000		
Sum of Ranks	NR		44.000	21.000		
	PR		22.000	24.000		
FEV ₁ /FVC (%)	Pre		96.270±7.071	98.521±4.802	-.781	.435
	Post		93.709±10.743	98.743±2.639		
Change between Pre and Post Test			-2.561±8.371	.221±2.665		
MWU Z-value			-.978	-.178		
MWU p-value			.328	.859		

WSR: Wilcoxon signed rank test

MWU: Mann-Whitney U test

NR: Negative Ranks

PR: Positive Ranks

FEV₁/FVC: forced expiratory volume at one second/forced vital capacity

ABE Group: aquatic breathing exercise group

GBE Group: general breathing exercise group

(3) FEV₁/FVC 전·후 변화

FEV₁/FVC의 전·후 비교에서 수중호흡운동군은 사전값 96.270±7.071%에서 사후값 93.709±10.743%로 감소한 것으로 보이지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 일반호흡운동군은 사전값 98.521±4.802%에서 사후값 98.743±2.639%로 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 집단 간 주 효과검정에서 수중호흡운동군의 FEV₁/FVC 전·후 차이값은 -2.561±8.371%, 일반호흡운동군은 .221±2.665%로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 5).

(4) PEF 전·후 변화

PEF의 전·후 비교에서 수중호흡운동군은 사전값 1.727±.779 l/s에서 사후값 2.521±1.127 l/s로 증가하였고 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<.05). 일반호흡운동군은 사전값 2.745±2.110 l/s에서 사후값 2.395±1.217 l/s로 감소한 것으로 보이지만 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 집단 간 주 효과검정에서 수중호흡운동군의 PEF 전·후 차이값은 .794±.984 l/s, 일반호흡운동

군은 -.350±1.448 l/s로 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<.05)(Table 6).

2) 느린폐활량(slow vital capacity: SVC)

(1) VC 전·후 변화

VC의 전·후 비교에서 수중호흡운동군은 사전값 3.180±1.519 l에서 사후값 3.962±1.667 l로 증가하였고 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<.05). 일반호흡운동군은 사전값 3.760±1.624 l에서 사후값 3.511±1.827 l로 감소한 것으로 보이지만 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 집단 간 주 효과검정에서 수중호흡운동군의 VC 전·후 차이값은 .781±.962 l, 일반호흡운동군은 -.248± 1.761 l로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 7).

(2) IC 전·후 변화

IC의 전·후 비교에서 수중호흡운동군은 사전값 2.476±1.434 l에서 사후값 3.001±1.255 l로 증가한 것으로 보이지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 일반호흡운동군은 사전값 2.774±1.483 l에서 사후값

Table 6. Comparison of the PEF during the intervention in the ABE and GBE Groups

			ABE Group	GBE Group	WSR Z-value	WSR p-value
PEF (ℓ/s)	N		12	12		
	Mean Rank	NR	2.670	7.000		
		PR	7.780	6.140		
	Sum of Ranks	NR	8.000	35.000		
		PR	70.000	43.000		
	Pre		1.727±.779	2.745±2.110	-2.136	.033*
	Post		2.521±1.127	2.395±1.217		
	Change between Pre and Post Test		.794±.984	-.350±1.448		
	MWU Z-value		-2.432	-.314		
	MWU p-value		.015*	.754		

WSR: Wilcoxon signed rank test

MWU: Mann-Whitney U test

NR: Negative Ranks

PR: Positive Ranks

PEF: Peak expiratory flow

ABE Group: Aquatic breathing exercise group

GBE Group: General breathing exercise group

Table 7. Comparison of the the VC during the Intervention in the ABE and GBE Groups

			ABE Group	GBE Group	WSR Z-value	WSR p-value
VC (ℓ)	N		12	12		
	Mean Rank	NR	5.000	7.170		
		PR	6.800	5.830		
	Sum of Ranks	NR	10.000	43.000		
		PR	68.000	35.000		
	Pre		3.180±1.519	3.760±1.624	-1.530	.126
	Post		3.962±1.667	3.511±1.827		
	Change between pre and Post Test		.781±.962	-.248±1.761		
	MWU Z-value		-2.275	-.314		
	MWU p-value		.023*	.754		

WSR: Wilcoxon signed rank test

MWU: Mann-Whitney U test

NR: Negative Ranks

PR: Positive Ranks

VC: vital capacity

ABE Group: aquatic breathing exercise group

GBE Group: general breathing exercise group

2.464±1.303 ℓ로 감소한 것으로 보이지만 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 집단 간 주 효과검정에서 수중 호흡운동군의 IC 전·후 차이값은 .525±.968 ℓ, 일반호흡운동군은 -.310±1.541 ℓ로 통계적으로 유의한 차이

를 보이지 않았다(Table 8).

(3) TV 전·후 변화

TV의 전·후 비교에서 수중호흡운동군은 사전값 .

Table 8. The Comparison of the IC during the Intervention in the ABE and GBE Groups

			ABE Group	GBE Group	WSR Z-value	WSR p-value
IC (ℓ)	N		12	12		
	Mean Rank	NR	8.500	6.000		
		PR	6.100	7.500		
	Sum of Ranks	NR	17.000	48.000		
		PR	61.000	30.000		
	Pre		2.476±1.434	2.774±1.483	-1.732	.083
	Post		3.001±1.255	2.464±1.303		
	Change between Pre and Post Test		.525±.968	-.310±1.541		
	MWU Z-value		-1.726	-.706		
	MWU p-value		.084	.480		

WSR: Wilcoxon signed rank test

MWU: Mann-Whitney U test

NR: Negative Ranks

PR: Positive Ranks

IC: inspiratory capacity

ABE Group: aquatic breathing exercise group

GBE Group: general breathing exercise group

Table 9. Comparison of the TV during the Intervention in the ABE and GBE Groups

			ABE Group	GBE Group	WSR Z-value	WSR p-value
TV (ℓ)	N		12	12		
	Mean Rank	NR	6.500	6.940		
		PR	6.500	5.170		
	Sum of Ranks	NR	13.000	62.500		
		PR	65.000	15.500		
	Pre		.497±.314	.535±.320	-2.630	.009**
	Post		.575±.240	.445±.245		
	Change between Pre and Post Test		.077±.167	-.090±.152		
	MWU Z-value		-2.042	-1.845		
	MWU p-value		.041*	.065		

WSR: Wilcoxon signed rank test

MWU: Mann-Whitney U test

NR: Negative Ranks

PR: Positive Ranks

TV: tidal volume

ABE Group: aquatic breathing exercise group

GBE Group: general breathing exercise group

497±.314 ℓ에서 사후값 .575±.240 ℓ로 증가하였고 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<.05$). 일반호흡운동군은 사전값 .535±.320 ℓ에서 사후값 .445±.245 ℓ로 감소한 것으로 보이지만 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

집단 간 주 효과검정에서 수중호흡운동군의 TV 전·후 차이값은 .077±.167 ℓ, 일반호흡운동군은 -.090±.152 ℓ로 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<.05$)(Table 9).

Table 10. Comparison of the IRV during the Intervention in the ABE and GBE Groups

		ABE Group	GBE Group	WSR Z-value	WSR p-value
	N	12	12		
Mean Rank	NR	8.500	6.640		
	PR	6.100	6.300		
Sum of Ranks	NR	17.000	46.500		
	PR	61.000	31.500		
IRV (ℓ)	Pre	1.979±1.229	2.238±1.268	-1.530	.126
	Post	2.426±1.092	2.018±1.156		
Change between Pre and Post Test		.447±1.010	-.220±1.519		
MWU Z-value		-1.726	-.589		
MWU p-value		.084	.556		

WSR: Wilcoxon signed rank test

MWU: Mann-Whitney U test

NR: Negative Ranks

PR: Positive Ranks

IRV: inspiratory reserve volume

ABE Group: aquatic breathing exercise group

GBE Group: general breathing exercise group

(4) IRV 전·후 변화

IRV의 전·후 비교에서 수중호흡운동군은 사전값 1.979±1.229 ℓ에서 사후값 2.426±1.092 ℓ로 증가한 것으로 보이지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 일반호흡운동군은 사전값 2.238±1.268 ℓ에서 사후값 2.018±1.156 ℓ로 감소한 것으로 보이지만 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 집단 간 주 효과검정에서 수중호흡운동군의 IRV 전·후 차이값은 .447±1.010 ℓ, 일반호흡운동군은 -.220±1.519 ℓ로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 10).

(5) ERV 전·후 변화

ERV의 전·후 비교에서 수중호흡운동군은 사전값 .972±.484 ℓ에서 사후값 1.224±.586 ℓ로 증가하였고 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<.05$). 일반호흡운동군은 사전값 1.153±.907 ℓ에서 사후값 1.129±.657 ℓ로 감소한 것으로 보이지만 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 집단 간 주 효과검정에서 수중호흡운동군의 ERV 전·후 차이값은 .251±.328 ℓ, 일반호흡운동군은 -.024±.977 ℓ로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 11).

2. 최대발성시간의 변화 비교

MPT의 전·후 비교에서 수중호흡운동군은 사전값 12.998±3.934초에서 사후값 16.250±7.316초로 증가하였고 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<.05$). 일반호흡운동군은 사전값 12.963±6.469초에서 사후값 13.362±7.383초로 증가한 것으로 보이지만 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 집단 간 주 효과검정에서 수중호흡운동군의 MPT 전·후 차이값은 3.251±5.038초, 일반호흡운동군은 .399±3.071초로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 12).

IV. 고 찰

호흡운동 기간은 4-12주, 주 2-5회 실시하여야 하며, 호흡운동 시간은 20-30분 실시하여야 최대 효과가 있다는 British Thoracic Society Standards of Care Subcommittee on Pulmonary Rehabilitation [32] 지침에 근거하여 본 연구에서는 시간과 기간을 아동의 피로도를 고려하여 준비 운동 5분, 마무리 운동 5분, 본 운동 30분으로 구성하여 주 2회 총 8주간 실시하였다.

폐기능 검사는 호흡상태를 평가하는 강력한 도구로

Table 11. Comparison of the ERV during the Intervention in the ABE and GBE Groups

		ABE Group	GBE Group	WSR Z-value	WSR p-value
	N	12	12		
Mean Rank	NR	2.630	6.000		
	PR	7.930	6.860		
Sum of Ranks	NR	10.500	30.000		
	PR	55.500	48.000		
ERV (ℓ)	Pre	.972±.484	1.153±.907	-.347	.729
	Post	1.224±.586	1.129±.657		
Change between pre and post test		.251±.328	-.024±.977		
MWU Z-value		-2.002	-.707		
MWU p-value		.045*	.480		

WSR: Wilcoxon signed rank test

MWU: Mann-Whitney U test

NR: Negative Ranks

PR: Positive Ranks

ERV: expiratory reserve volume

ABE Group: aquatic breathing exercise group

GBE Group: general breathing exercise group

Table 12. Comparison of the MPT during the Intervention in the ABE and GBE Groups

		ABE Group	GBE Group	WSR Z-value	WSR p-value
	N	12	12		
Mean Rank	NR	4.000	5.330		
	PR	7.000	7.670		
Sum of Ranks	NR	8.000	32.000		
	PR	70.000	46.000		
MPT (s)	Pre	12.998±3.934	12.963±6.469	-1.386	.166
	Post	16.250±7.316	13.362±7.383		
Change between Pre and Post Test		3.251±5.038	.399±3.071		
MWU Z-value		-2.432	-.549		
MWU p-value		.015*	.583		

WSR: Wilcoxon signed rank test

MWU: Mann-Whitney U test

NR: Negative Ranks

PR: Positive Ranks

ERV: expiratory reserve volume

ABE Group: aquatic breathing exercise group

GBE Group: general breathing exercise group

서 진단에 도움 줄뿐만 아니라 질병의 중증도와 치료 반응의 객관적인 지표를 제공한다. 폐기능은 연령, 성별, 신장에 따라 변하기 때문에 검사를 해석할 때 이를 고려하여야 하며 인종, 체중에 의해서도 어느 정도 변한다고 알려져 있다[33]. 이러한 사항을 고려하여 본 연구는

연령, 성별, 신장, 몸무게 등 일반적 특성에서 유의한 차이가 없는 것으로 나타나 동질성이 확보되었다.

본 연구에서 폐기능 변화는 수중호흡운동군의 FEV₁, PEF, VC, TV, ERV 비교에서 중재 전과 후에 유의한 차이가 있었고(p<.05) 수중호흡운동군과 일반호흡운

동군 간의 중재 전·후 차이에 대한 효과검정에서는 FEV₁, PEF, TV에서 유의한 차이를 보였다($p < .05$).

FEV₁은 가능한 최대로 흡기 후 노력성호기를 시작하고 1초간 내쉬 호흡량을 가리킨다. COPD의 경우 작은 기도가 정상보다 빨리 닫히기 때문에 FEV₁의 감소가 나타나는데 임상적으로 COPD의 중요한 지표가 된다[34]. 폐 기능 이상은 두 가지 기본 패턴으로 구분하는데 폐쇄성 패턴과 제한성 패턴이 있다[35]. Lee [36]는 뇌성마비 아동이 흉곽 팽창에 기계적인 제한이 생겼거나 호흡근의 약화로 제한성 환기 장애 패턴을 보인다고 하였고 뇌성마비 아동에게 피드백 호흡운동과 복합 호흡운동 후 FEV₁이 유의하게 증가되었다고 하였다. Lee 등[37], Kim 등[38]은 제한성 패턴을 보이는 뇌졸중 환자에게 호흡운동 후 FEV₁이 증가하였다고 하였다. 이는 본 연구와 일치하는 결과로 제한성 환기 장애를 가지고 있는 뇌성마비 아동이 수중에서 탁구공을 불거나 포우치를 불어 뒤집는 훈련, 물속에 얼굴을 침수한 상태로 정수압과 물의 점성저항을 이겨내며 거품불고 호흡조절하는 훈련을 통해 호흡근의 활동성을 증가시킴으로써 FEV₁이 강화된 것으로 사료된다.

PEF는 전체 폐용량으로부터 최대호기 후에 측정할 수 있는 최대속도이며 기도폐쇄 유무와 기도폐쇄의 손상 정도를 알아내는 데 유용한 파라미터이다[30]. Lima 등[39]은 천식 아동에게 흡기근 훈련과 호흡운동 후 PEF가 유의하지는 않지만 약간 증가했다고 보고했다. Wang 등[40]도 천식 아동에게 수영을 한 후 PEF를 비교하였을 때 유의하게 증가했다고 보고했다. Chang 등[41]은 경증 천식 환자에서 FEV₁과 PEF 간의 연관성을 조사해 높은 일치성을 보였다. 만성폐쇄성폐질환에서도 FEV₁과 PEF측정치의 유의한 상관 관계가 있음이 알려졌다[42]. 본 연구에서도 대상이 뇌성마비 아동이지만 수중호흡운동군에서 호흡근 활동성의 증가로 FEV₁이 강화된 것처럼 PEF에서도 그 기능이 향상된 것으로 사료된다.

폐활량의 측정은 환기의 예비능력을 반영하는 지표로서 나타나는데, 환자로 하여금 평상시 호흡을 하다가 끝까지 숨을 들이마시게 한 후 시간에 관계없이 천천히 가능한 끝까지 내쉬게 하여 VC, IC, TV, IRV, ERV 등을

측정하게 된다. Hutzler 등[22]은 46명의 뇌성마비 아동에게 6개월간 수영과 수중운동을 중재한 결과 심폐기능이 보바스 물리치료만 받은 대조군에 비해 향상된다고 하였다. 또한, Kim 등[43]은 불기와 링 게임과 같이 호흡조절 훈련을 포함한 12주간 수중운동 프로그램이 성장기 뇌성마비 아동의 폐활량에 긍정적인 영향을 미친다고 하였다. 본 연구에서도 수중호흡운동군의 폐활량에 유의한 증가를 볼 수 있었다. 수중에서 탁구공 불기와 포우치 뒤집기는 시각적 피드백으로 아이에게 흥미를 유발하면서 호기근을 강화시키고 잠수하여 고리 잡기는 시작 전 심호흡을 유도한다. 머리를 침수한 상태에서 호흡조절 훈련은 정수압과 물의 점성저항으로 인한 호흡저항을 증가시키고 호흡근을 강화하여 폐활량이 증가된 것으로 생각된다.

Chen 등[44]은 prolonged mechanical ventilation 환자를 대상으로 호흡운동을 한 후 폐기능을 측정한 결과 실험군에서 TV가 0.5 L 유의하게 증가하였다고 보고하였다. Kim 등[45]은 경수 손상 환자의 호흡훈련(입술 오므리기 호흡, 횡격막 호흡, 유발성 폐활량계, 대흉근 저항운동)을 통해 1회 호흡량과 폐활량에 유의한 증가를 보고하였다. 본 연구에서도 수중호흡운동군에서 평상시 1회 호흡량의 유의한 증가를 볼 수 있었고 일반호흡운동군 간의 중재 전·후 차이에 대한 효과검정에서도 유의한 차이를 보였다.

Roth 등[46]은 척수 손상 환자에게 호기근 훈련을 한 후 호기예비용적이 유의한 증가를 보였다고 하였다. Lee [36]는 피드백 호흡운동군과 복합 호흡운동군에서는 피드백 호흡운동군이, 피드백 호흡운동군과 대조군에서는 피드백 호흡운동군이 호기예비용적이 유의하게 증가하였다고 보고하였다. 본 연구에서도 수중호흡운동군의 호기예비용적에 유의한 증가를 볼 수 있었다.

본 연구에서 최대발성시간(MPT)의 변화는 수중호흡운동군의 중재 전과 후에 유의한 차이가 있었다. Tanaka 등[47]은 발성의 세기와 폐 내압 사이의 상관 관계, 평균 기류율 및 공기 역학적 힘과의 관계를 조사하여 호흡과 발성이 밀접한 관계가 있음을 밝혔다. 그리고 Raes 등[48]은 호흡 즉, 폐활량의 차이로 인한 최대발성시간, 발성지수의 차이가 유의미하게 차이가 있음

을 밝혔으며, Solomon 등[49]은 폐활량과 최대발성시간 사이의 관계를 연구하여 폐활량의 감소에 따른 발성시간의 단축이 있었다고 보고하였다. 뇌성마비 아동은 폐활량 부족과 얇고 빠른 호흡이 나타남으로 호흡 강화 훈련을 통해 최대발성시간이 유의하게 길어진다고 하였는데[50], 본 연구에서도 폐활량이 증가된 수중호흡운동군에서 최대발성시간이 유의하게 증가하였다.

이상의 결과를 통해, 수중에서 일반호흡운동군 보다 수중호흡운동군이 뇌성마비 아동의 폐기능과 최대발성시간 향상에 더 효과적인 운동임을 알 수 있었다. 일반호흡운동군의 경우 폐기능과 최대발성시간이 중재 전·후에 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 이 결과는 수중호흡운동군의 경우 훈련기간 동안 거품블기나 잠수와 같이 호흡조절훈련에 대한 적절한 피드백이 주어졌지만 일반호흡운동군의 경우 호흡훈련에 대한 피드백 없이 일반수중운동에 초점을 둔 것이 그 원인으로 판단된다. 연구대상자들도 뇌성마비 아동이라 운동 자각도를 이해하고 적절한 강도로 일정하게 운동을 수행하는데 어려움이 있었고 일반호흡운동군의 프로그램 구성과 강도가 호흡에 직접적인 영향을 미치지 않은 것으로 생각된다. 또한 들숨 시 흡기근에 저항하고 날숨 시 호기근을 보조하는 정수압의 역할이 수중에서 운동한다고 하여도 폐기능과 최대발성시간에 유의미한 차이를 줄 정도는 아닌 것으로 생각된다. 이는 수중이라는 환경요소보다 호흡에 직접적인 영향을 미치는 운동인가 아닌가가 폐기능 향상에 훨씬 중요한 요소를 알 수 있었다.

앞으로는 수중에서 중재기간 변화와 운동강도 변화에 따라 폐기능 변화를 살펴보고 지상과 수중에서의 비교 연구도 필요할 것으로 생각된다. 이 연구의 제한점은 대상자 수가 수중호흡운동군 12명, 일반호흡운동군 12명으로 비교적 적은 수의 대상자에게 시행하여 모든 뇌성마비 아동에게 일반화하여 해석하기 어렵다는 점과 윤리적인 문제로 인해 대상자의 일상생활을 통제하지 못했다는 점이다. 또한 대상자의 협응 문제나 이해의 문제로 폐기능 측정 시 측정도구에 입을 잘 오르지 못하는 경우도 있었다. 향후에는 본 연구의 제한점을 보완하여 수중에서 호흡기능을 강화하고 폐기능

향상을 객관적으로 입증할 수 있는 다양한 연구들이 이루어져야 할 것이다.

V. 결론

본 연구는 수중에서 호흡운동이 뇌성마비 아동의 폐기능 및 최대발성시간에 미치는 영향을 알아보기 위하여 뇌성마비 아동 24명을 대상으로 수중호흡운동군 12명, 일반호흡운동군 12명을 무작위 그룹 배정하여 8주 동안 주 2회 40분 중재하고 다음과 같은 결과를 얻었다. 연구 결과 수중호흡운동군에서 FEV₁, PEF, VC, TV, ERV, MPT에서 중재 전과 후에 유의한 수준의 차이가 있었다($p < .05$). 수중호흡운동군과 일반호흡운동군 간의 중재 전·후 차이에 대한 변화량 검정에서는 FEV₁, PEF, TV에서 유의한 수준의 차이가 있었다($p < .05$). 결과적으로 수중호흡운동이 폐기능과 최대발성시간 향상에 효과적임을 알 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 수중에서 호흡운동을 통해 뇌성마비 아동의 폐기능과 최대발성시간을 향상하고 뇌성마비 아동이 일상생활에서 좀 더 나은 삶을 영위하는 데 도움이 될 수 있길 기대한다.

Acknowledgements

본 연구는 교내학술연구비 지원을 받은 논문임.
Grant N.20160021.

References

- [1] Bax M, Goldstein M, Rosenbaum P, et al. Proposed definition and classification of cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2005;47(8):571-6.
- [2] Bae CW. Neonatal viability, morbidity, mortality and outcome of very low weight infant. *The Korean Pediatric Society*. 2000;43(1):1-12.
- [3] Bax MC, Flodmark O, Tydeman C. Definition and classification of cerebral palsy. From syndrome toward disease. *Dev Med Child Neurol Suppl*. 2007;109:39-41.

- [4] Seo JE. The effect of respiration and oral motor training on correctness of consonants and the vocalization prolongation, for children with spastic cerebral palsy. *The Educational Journal for Physical and Multiple Disabilities*. 2007;49(49):135-60.
- [5] Toder DS. Respiratory problems in the adolescent with developmental delay. *Adolesc Med*. 2000;11(3):617-31.
- [6] Seddon PC, Khan Y. Respiratory problems in children with neurological impairment. *Arch Dis Child*. 2003; 88(1):75-8.
- [7] Strauss D, Cable W, Shavelle R. Causes of excess mortality in cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 1999;41(9): 580-5.
- [8] Erosoz M, Selcuk B, Gunduz R, et al. Decreased chest mobility in children with spastic cerebral palsy. *Turk J Pediatr*. 2006;48(4):344-50.
- [9] Wang HY, Chen CC, Hsiao SF. Relationship between respiratory muscle strength and daily living function in children with cerebral palsy. *Research in developmental disabilities*. 2012;33(4):1176-82.
- [10] Ahn BR. Assessment of forced expiratory volume and maximum phonation time following the Bobath therapy in spastic cerebral palsy. Master's Degree. Myongji University. 2008.
- [11] Bobath B. *Abnormal postural reflex activity caused by brain lesions* (3RD ed). Oxford. Butterworth-Heinemann Ltd. 1991.
- [12] Jung JO. The maximum phonation time and temporal aspects in Korean stops in children with spastic cerebral palsy. Master's Degree. Yonsei University. 2006.
- [13] Kelly M, Darrah J. Aquatic exercise for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2005;47(12): 838-42.
- [14] Kravitz L, Mayo J. The physiological effects of aquatic exercise: A brief review. *Aquatic Exercise Association*. 2004.
- [15] Di Prampero PE. The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal of Sports Medicine*. 1986;7(2):55-72.
- [16] Champion MR. *Hydrotherapy: Principles and practice*. Butterworth - Heinemann. 1998.
- [17] Harris SR. Neurodevelopment treatment approach for teaching swimming to cerebral palsied children. *Phys Ther*. 1978;58(8):979-83.
- [18] Peganoff SA. The use of aquatics with cerebral palsied adolescents. *Am J Occup Ther*. 1984;38(7):469-73.
- [19] Kim JH. The effects of aquatic rehabilitation exercise on children with cerebral palsy patients in terms of body composition, physical fitness and breathing capacity. Master's Degree. Kyonggi University. 2006.
- [20] Kim TY, Kim KY, Lambeck J. Hydrotherapy in rheumatoid arthritis. *J Korean Soc Phys Ther*. 2000;12(3): 407-14.
- [21] Kim ES, Choi SK, Lee IK. *Special Physical Education for Students with Disabilities*. Seoul: Taegeun Culture History. 1992.
- [22] Hutzler Y, Chacham A, Bergman U, et al. Effects of a movement and swimming program on vital capacity and water orientation skills of children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*. 1998;40(3):176-81.
- [23] Rothman, JG. Effects of respiratory exercise on the vital capacity and forced expiratory volume in children with cerebral palsy. *Phys Ther*. 1978;58(4):421-5.
- [24] Kim SH, Go YH, Youn YB. Effect of aquatic exercise on body composition, fitness and pulmonary function of spasticity cerebral palsy. *The Korea Contents Association*. 2005;5(3):37-44.
- [25] Retarekar R, Fragala-Pinkham M, Townsend EL. Effects of aquatic aerobic exercise for a child with cerebral palsy : Single-subject design. *Pediatric Phys Ther*. 2009;21(4): 336-44.
- [26] Balachandran A, Shivbalan S, Thangavelu S. Chest physiotherapy in pediatric. *Indian pediatrics*. 2005;42(6): 559-68.
- [27] Derrickson J, Ciesla N, Simpson N, et al. A comparison

- of two breathing exercise programs for patients with quadriplegia. *Physical therapy*. 1992;72(11):763-9.
- [28] Kim JH, Yun SM. Evidence based aquatic programs for students with disabilities: systematic literature review. *The Korean Journal of Education*. 2016;55(2):689-700.
- [29] Palisano RJ, Hanna SE, Rosenbaum PL, et al. Validation of a model of gross motor function for children with cerebral palsy. *Physical Therapy*. 2000;80(10):974-85.
- [30] Quanjer PH, Lebowitz MD, Gregg I. Peak expiratory flow: conclusions and recommendations of a working party of the european respiration society. *Eur Respir J*. 1997;24:2-8.
- [31] Duffy J. *Motor speech disorder: Substrates, differential diagnosis, and management* (2nd ed). St. Louis, MO: Mosby. 2005.
- [32] British Thoracic Society Standards of Care Subcommittee on Pulmonary Rehabilitation. *Pulmonary rehabilitation*. *Thorax*. 2001;56(11):827-34.
- [33] Bob H, Ken W. *Pocket guide to lung function tests*. New York: McGraw-Hill. 2006.
- [34] Liu CL, Wu CL, Lu YT. Effects of age on 1-second forced expiratory volume response to bronchodilation. *International Journal of Gerontology*. 2009;3(3):149-55.
- [35] American Thoracic Society. Lung function testing: selection of reference value and interpretative strategies. *The American Review of Respiratory Disease*. 1991; 144(5):1202-18.
- [36] Lee HY. Effects of breathing exercise on pulmonary function and respiratory muscle strength in children with spastic cerebral palsy. Doctor's Degree. Daegu University. 2013.
- [37] Lee JH, Kwon YJ, Kim K. The effect of chest expansion and pulmonary function of stroke patients after breathing exercise. *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*. 2009;21(3):25-32.
- [38] Kim K, Dennis WE, Lee JH. Feedback respiratory training to enhance chest expansion and pulmonary function in chronic stroke: A double-blind, randomized controlled study. *Journal of Physical Therapy Science*. 2011;23(1): 75-9.
- [39] Lima EV, Lima WL, Nobre A, et al. Inspiratory muscle training and respiratory exercises in children with asthma. *J Bras Pneumol*. 2008;34(8):552-8.
- [40] Wang JS, Hung WP. The effects of a swimming intervention for children with asthma. *Respirology*. 2009; 14(6):838-42.
- [41] Chang WC, Kim BK, Kim SJ, et al. Agreements between FEV₁ and PEFr in patients of mild bronchial asthma. *Tuberculosis and Respiratory Diseases*. 2005;59(6): 638-43.
- [42] Haydu SP, Chapman TT, Hughes DT. Pulmonary monitor for assessment of airways obstruction. *The Lancet*. 1976;2:1225-6.
- [43] Kim JH, Lee HK. Effect of 12 weeks aquatic rehabilitation exercise program on body composition, physical fitness and vital capacity in children with cerebral palsy. *The Korean Journal of Growth and Development*. 2009;17(3): 169-75.
- [44] Chen YH, Lin HL, Hsiao HF, et al. Effects of exercise training on pulmonary mechanics and functional status in patients with prolonged mechanical ventilation. *Respiratory Care*. 2012;57(5):727-34.
- [45] Kim YR, Lee SJ, Kim HJ, et al. The significance of posture on assessment of pulmonary function after pulmonary rehabilitation in tetraplegia. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2003;27(4):514-8.
- [46] Roth EJ, Stenson KW, Powley S, et al. Expiratory muscle training in spinal cord injury: a randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2010;91(6):857-61.
- [47] Tanaka S, Could WJ. Relationships between vocal intensity and noninvasively obtained aerodynamic parameters in normal subjects. *Journal of Acoustical Society of America Online*. 1983;73(4):1316-21.
- [48] Raes JP, Clement PA. Aerodynamic measurements of voice production. *Acta Otorhinolaryngologica Belgica*.

- 1996;50(4):293-8.
- [49] Solomon N, Perl, Carlitz SJ, et al. Respiratory and laryngeal contributions to maximum phonation duration. *Journal of Voice*. 2000;14(3):331-40.
- [50] Kim HK, Kwon DH. The effect of respiratory muscles training program on Improvement of speech production mechanism in children with spastic cerebral palsy. *Journal of speech & hearing disorders*. 2005;2(1):89-109.