

3차원 가상현실 프로그램을 이용한 뇌졸중 후 편측 무시 평가

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소, ¹한양대학교 의용생체공학과, ²한사랑아산병원

김덕용 · 이장한¹ · 박창일 · 김용욱 · 장원혁 · 김인영¹ · 김선일¹ · 전중선² · 장현정

Assessment of Post-stroke Unilateral Neglect Using 3-Dimensional Virtual Reality Program

Deog Young Kim, M.D., Ph.D., Jang Han Lee, Ph.D.¹, Chang Il Park, M.D., Ph.D., Yong Wook Kim, M.D., Won Hyuk Chang M.D., In-Young Kim, Ph.D.¹, Sun I Kim, Ph.D.¹, Joongson Chon, M.D., Ph.D.² and Hyun Jung Chang, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine and Research Institute of Rehabilitation Medicine, Yonsei University College of Medicine, ¹Department of Biomedical Engineering, Hanyang University and ²Hansarang Asan General Hospital

Objective: To investigate the clinical usefulness of newly developed 3-dimensional virtual reality (VR) program to assess the unilateral neglect.

Method: Sixteen unilateral neglect patients and forty healthy subjects were included in this study. Forty healthy subjects were classified into two groups (control group I, II) based on the previous computer experience. This VR program was composed of two sessions, the first session was to search the midpoint of the monitor and the second session was to scan the randomized target movement. Head-mounted display and 3-dimensional position sensor were used during VR program. The unilateral neglect patients performed the line bisection test and the letter cancellation test. The correlations of the clinical measurements and the parameters of the 3-dimensional VR program were analyzed.

Results: All parameters of the VR program in patient group were significantly different with those in control group I, II ($p < 0.05$). Left directional parameters were significantly different with right directional parameters of the VR program in patient group ($p < 0.05$), but not in control group I, II. The parameters of the VR program were significantly correlated with clinical measurements ($p < 0.05$).

Conclusion: The assessment of unilateral neglect using 3-dimensional virtual reality program may be clinically useful. (*J Korean Acad Rehab Med 2005; 29: 1-8*)

Key Words: Virtual reality, Neglect, Stroke, Assessment

서 론

뇌졸중 환자에서 편측 무시란 시각과 시야의 이상이 없으면서도 마비된 측의 외부공간에서 오는 시각적 자극을 무시하고 이에 반응을 보이지 않는 현상을 말한다.¹³ 편측 무시와 연관성이 높은 뇌병변의 위치는 우측 하부 두정엽이 가장 많이 보고되고 있으며 그 외에도 우측 전두엽, 우측 시상, 우측 기저핵 등이 보고되고 있다.^{9,12,26} 편측 무시 환자는 읽기, 쓰기에 어려움이 있을 뿐 아니라 좌측의 장애물을 깨닫지 못하고 자주 부딪히는 등 일상생활에 장애를 보이며 뇌졸중의 부정적 예후 예측 인자로 알려져 있다.^{14,28} 편측 무시의 기전으로는 불충분 각성 가설(underarousal the-

ory), 우측에 대한 정위 편위(orienting bias to the right: deficient visual attention), 공간 표현 결핍(spatial representation deficits) 등이 제안되고 있다.¹⁹

이러한 편측 무시를 정확히 평가하기 위해서 여러 다양한 방법이 시도되고 있다. 이 중 간단하고 짧은 시간이 소요되어 가장 널리 이용되고 있는 직선 이분 검사(line bisection test)^{2,23}, 행동적 부주의 검사(behavioral inattention test)¹, 교대 동시 자극법(alternating simultaneous stimuli)³ 등은 검사 용지에 있는 그림이나 몇 가지의 설정된 상황 속에서 좌측의 시각적 자극을 얼마나 무시하는가와 주어진 공간에서 중심으로 파악하는 점이 얼마나 우측으로 편향되었는가를 주로 알아보는 검사이다. 이외에도 편측 무시의 특성으로 무시 측에 대한 시각적 반응의 지연을 진단적 도구로도 사용하고 있다.⁸ 하지만 검사 방법에 따라 각각의 제한점이 있는 상황이다. 직선 이분 검사는 책상 위의 검사지에 손으로 중심을 표시하는 방법으로 손의 운동 변수가 작용된다는 문제가 있어 실행증(apraxia)과 같은 운동 능력의 장애가 함께 있다면 검사의 정확도가 저하될 수 있다.²⁵ 또한 이는 일차원적 공간의 선위에서 나타나는 무시의 정도를 파악하는 방법으로 이차원적인 평면 또는 3차원적인 공간에서는

접수일: 2004년 8월 19일, 게재승인일: 2004년 10월 29일
 교신저자: 장원혁, 서울시 서대문구 신촌동 134번지
 ☎ 120-752, 연세의료원 재활병원 재활의학과
 Tel: 02-361-7772, Fax: 02-363-2795
 E-mail: iamchangwh@dreamwiz.com
 본 연구는 2002년도 한국과학재단특정기초연구사업(R01-2002-000-00516) 연구비 지원으로 이루어졌음.

이 반응이 달라질 수 있는 단점이 있다.²⁸⁾ 별 찾기 검사(star cancellation test) 또는 문자 찾기 검사(letter cancellation test)는 같은 모양의 도형이나 문자를 지워나가는 방법으로 검사가 지루하여 집중시간이 짧은 환자에서는 효율이 떨어지는 단점이 있다.¹⁶⁾

최근 들어 편측 무시를 보다 정확하게 정량화, 객관화하기 위한 컴퓨터를 이용한 진단 방법이 보고되고 있다. 1988년 Anton 등³⁾은 환자 주변의 공간에서 편측과 양측에서 시각 자극을 주면서 이에 대한 반응을 컴퓨터에 기록하도록 하여 임상적으로 작업치료가 발견하는 것보다 우수하게 편측 무시를 진단할 수 있음을 보고하였으며 2001년 김 등¹⁾은 키보드나 마우스를 쓰지 않고도 조작할 수 있는 응시 위치 추적 시스템을 이용하여 편측 무시를 진단할 수 있는 가능성에 대해 보고하였다. 하지만 기존의 컴퓨터 프로그램은 환자의 손을 사용하거나 이차원적 평면에서의 검사 등의 문제점을 가지고 있다.

가상현실(Virtual reality, VR)은 어떤 특정한 환경, 상황을 컴퓨터를 이용하여 모의실험(simulate)함으로써 그것을 사용하는 사람이 마치 실제 삼차원적인 주변 환경, 상황과 상호작용을 하고 있는 것처럼 만들어 주어 실험실 환경과 실생활간의 차이를 최소화할 수 있고, 자유로운 인터페이스(interface)를 이용하여 신체적 장애에 관계없이 시행할 수 있다.^{7,11,21)}

이에 본 연구에서는 편측 무시를 진단하고 정량적으로 평가하는 새로운 방법으로 마비측 상지의 장애 정도에 관계없이 시행할 수 있는 3차원 가상현실을 이용한 프로그램을 개발하고, 개발된 가상현실 프로그램이 뇌졸중 후 편측 무시 현상을 평가하는데 임상적으로 유용한지 알아보려고 하였다.

연구대상 및 방법

1) 연구대상

2003년 2월부터 2004년 4월까지 본원 재활의학과에 뇌졸중으로 인한 좌측 무시 증상을 보이는 환자 16명을 실험군으로 하였다. 이들은 뇌경색이 9명, 뇌출혈이 7명이었고 손 상 부위는 우측 중뇌 동맥 경색이 9명, 우측 기저핵 출혈이 4명, 우측 두정엽, 측두엽 출혈이 3명이었다. 여자가 4명, 남자가 12명이었고, 연령은 평균 54.6세였다. 이들 중 검사자의 지시를 전혀 이해할 수 없는 심각한 인지 장애 또는 언어 장애를 보이는 경우, 등반이와 팔걸이가 있는 의자에 앉을 수 없을 정도로 앉기 균형이 심각하게 저하된 경우, 정형외과적 문제 등으로 인하여 경부의 움직임에 장애가 있는 경우, 교정시력의 저하로 컴퓨터 화면에서 사물을 인지할 수 없는 경우는 대상에서 제외하였다.

대조군으로 신경학적 이상이 없는 건강한 성인 중 컴퓨터 경험이 풍부한 20~30대의 20명(대조군 1)과 컴퓨터 경

Table 1. Characteristics of Subjects

Variables	Experimental group	Control group I	Control group II
No. of subjects	16	20	20
Age (years)	54.6±18.0	29.5±2.5*	59.9±6.1 [†]
Sex (female : male)	4 : 12	5 : 15	15 : 5
Computer experience scale ¹⁾	0.5±1.1	2.6±0.6*	0.5±0.9 [†]

Values are mean±standard deviation.

1. Computer experience scale: 0: no user, 1: word processor user, 2: basic internet user, 3: advanced internet user, 4: programmer *p<0.05 (experimental group vs. control I group), [†] p<0.05 (control group I vs. control group II)

험이 적은 50~60대의 20명(대조군 2)으로 하였다. 대조군 1은 여자가 5명, 남자가 15명이었고, 연령은 평균 29.5세이었다. 대조군 2는 여자가 15명, 남자가 5명이었고, 연령은 평균 59.9세이었다. 컴퓨터 경험은 2003년 Lee 등¹⁷⁾이 보고한 바와 같이 과거 컴퓨터 사용 경험이 전혀 없었던 경우를 0점, 문서 작성기를 사용한 경험이 있는 경우 1점, 간단한 인터넷 사용 경험이 있었던 경우를 2점, 인터넷을 이용하여 프로그램 다운로드 및 설치 등의 경험이 있었던 경우를 3점, 컴퓨터 프로그램을 개발한 경험이 있는 경우를 4점으로 하였다.

실험군과 대조군 2를 일반적인 특성을 비교해 볼 때 나이, 컴퓨터 경험에서 각각 차이를 보이지 않았고, 실험군과 대조군 1, 대조군 1과 대조군 2 간에 나이, 컴퓨터 경험에서 각각 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.05, Table 1).

2) 연구방법

(1) 임상적 측정: 연구대상자 모두에서 가로 29.7 cm, 세로 21.0 cm 크기의 직사각형 백지를 편하게 팔이 놓일 수 있는 팔꿈치 높이의 책상 위에서 놓고 검사용지와 눈 사이의 거리는 약 50 cm를 유지한 상태에서 검사지는 대상자의 정중앙에 놓이도록 하였으며 몸통과 머리가 가운데에서 기울어지거나 회전되지 않게 하고 직선 이분 검사, 단어 찾기 검사를 시행하였다.

직선 이분 검사는 대상자로 하여금 중심점을 찾도록 하여 편향을 측정하기 위한 방법으로 Schenkenberg 등²³⁾이 제안한 직선 이분 검사를 기준으로 하였으며 편향 정도는 표준화된 점수(Percent deviation=(measured left half-true half)/true half×100)로 계산하였다. 또한 단어 찾기 검사는 편측 무시에 대한 주사(scan) 능력을 알아보기 위해 Weintraub 등²⁷⁾이 제안한 단어 찾기 검사(letter cancellation test)를 시행하였다.

(2) 가상현실 프로그램을 이용한 측정: 가상현실 시스템



Fig. 1. Head-mounted display (A) and 3-dimensional position sensor (B).

은 Pentium IV PC, DirectX 3D accelerator VGA card, Head-mounted display (HMD, Eye-Track, Olympus Optical Co., LTD.), 3차원 위치센서(Intertrax2, VRS Tech Inc.) 등으로 구성하였다. 환자의 움직임이나 환자의 마비 측 상지의 운동 능력에 관계없이 시행할 수 있고, 집중도를 높이기 위해 HMD를 이용하였으며 3차원 위치센서를 HMD 위에 위치시켜 단순한 환자의 경부 움직임으로 가상 환경과의 상호 작용을 가능하게 하였다(Fig. 1).

가상현실 프로그램은 시작 시 환자로 하여금 경부의 움직임으로 가상 환경 내에 붉은색의 타원형 목표를 화면의 가운데에 위치하게 지시한 후 한 쪽으로 치우치는 정도를 계산하였으며 이 때의 변수를 편향각(deviation angle)으로 정의하였다. 편향각의 측정은 3번 반복하여 시행하였으며 각각의 측정간에는 타원형 목표가 화면에서 사라질 때까지 경부를 좌우로 움직인 후 측정하였다. 편향각의 측정 후 붉은색의 타원형 목표가 가운데에 위치할 때 노란색으로 변하여 중심 순응(midline orientation)을 교육한 후 5 초간 집중(attention)시 무작위로 좌우 한 방향으로 목표물이 10도 이동하도록 하여 머리의 움직임을 이용한 시각적 주사(visual scanning)를 유도하였다. 이 때 중심 순응 정도를 평가하기 위해 집중하는 데 걸리는 시간을 측정하였으며 이를 집중의 시간(no-attention time)으로 정의하였다. 또한 목표가 이동한 후 다시 집중하는 데 걸리는 시간을 측정하였으며 이를 주사 시간(scanning time)으로 정의하였다(Fig. 2). 목표의 이동한 후 시각적 주사가 5초 이상 안 될 경우 편향각과 목표의 이동 지점의 중간 지점으로 목표가 다시 이동하여 시각적 주사를 유도하는 첫 번째 단서(cue)를 제공하였다. 첫 번째 단서에 5초 동안 반응하지 않은 경우 편향각으로 측정된 지점에 화살표를 나타내어 두 번째 시각적 단서를 제공하였고, 두 번째 단서에 5초 동안 반응하지 않았을 경우는 목표의 이동 방향에서 경고음을 제공하는 청각적 단서를

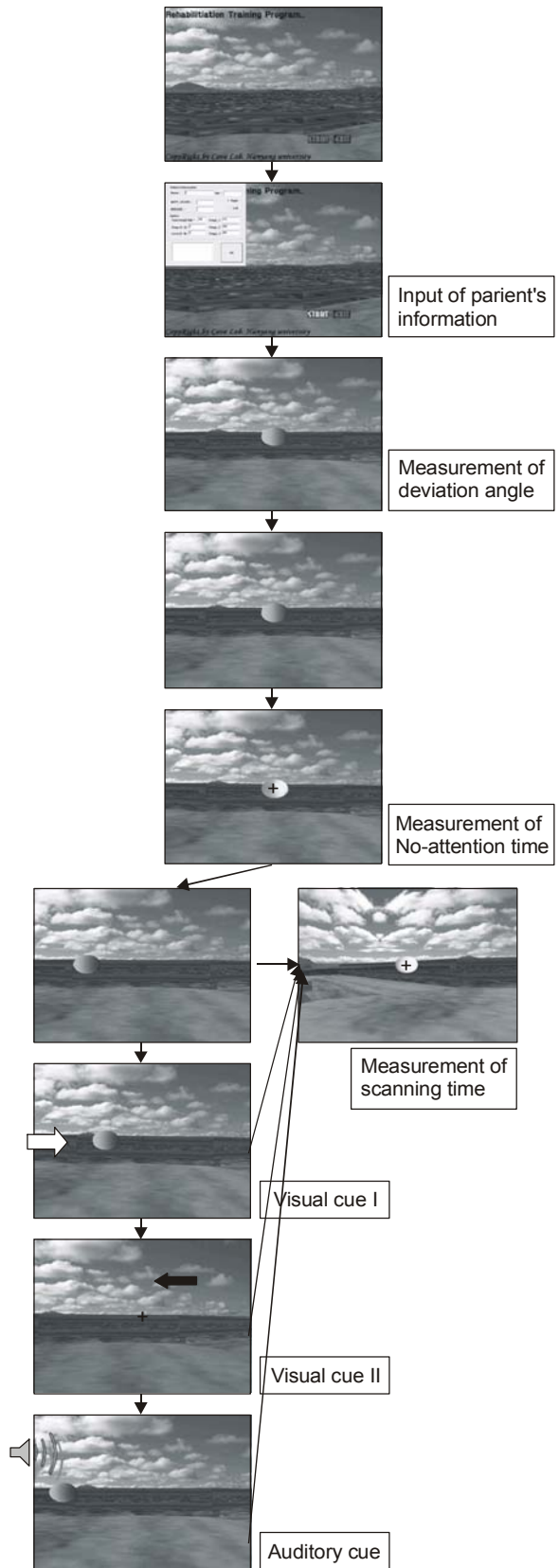


Fig. 2. Flow chart of 3-dimensional virtual reality program.

제공하여 환자로 하여금 시각적 주사를 할 수 있게 하였다. 세 번째 단서에 5초 이상 반응하지 않은 경우는 과제 실패로 정의하였다. 과제를 수행하는데 있어 몇 번의 단서가 제공되었는지를 측정하였고 전체 과제는 12회 수행하여 각각의 변수를 얻었다.

3) 통계 처리

통계분석은 SPSS 11.0 for window version을 이용하여 분석하였다. 실험군과 대조군 1, 2에서 3차원 가상현실 프로그램으로 측정된 변수를 ANOVA test를 이용하여 비교 분석하였으며, 집단간의 비교는 사후 검정 방법인 Turkey B test를 이용하였다. 실험군에서는 검사 용지를 이용한 방법과 컴퓨터를 사용한 방법과의 연관성에 대해서 Pearson correlation coefficient를 구하였다. p값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 정의하였다.

결 과

1) 3차원 가상현실 프로그램을 이용한 실험군과 대조군의 비교

편향각은 실험군, 대조군 1, 대조군 2에서 각각 평균 10.60°, -0.20°, 0.49°를 보여, 실험군은 대조군 1, 2에 비해

Table 2. Comparison of Parameters in 3-D Virtual Reality Unilateral Neglect Program between Each Groups

Parameters	Experimental group	Control group I	Control group II
Deviation angle (°)	10.60±5.00*	-0.20±0.66	0.49±1.18
No-attention time (sec)	7.98±8.81*	0.67±0.23	0.85±0.38
Scanning time (sec)	4.94±4.28*	0.51±0.38	0.58±0.35
Number of cues	0.38±0.50*	0.00±0.00	0.00±0.00
Failure rate of mission (%)	4.58±10.2*	0.00±0.00	0.00±0.00

Values are means±standard deviation.

*p<0.05 (experimental group vs. control I, II groups)

각각 통계학적으로 유의하게 좌측으로 편향되어 있었고(p<0.05), 대조군 1과 대조군 2간에는 통계학적 유의한 차이를 보이지 않았다.

집중 외 시간은 실험군, 대조군 1, 대조군 2에서 각각 평균 7.98초, 0.67초, 0.85초를 보여, 실험군은 대조군 1, 2에 비해 각각 통계학적으로 유의하게 길었고(p<0.05), 대조군 1과 대조군 2간에는 통계학적 유의한 차이를 보이지 않았다.

주사 시간은 실험군, 대조군 1, 대조군 2에서 각각 평균 4.94초, 0.51초, 0.58초를 보여, 실험군은 대조군 1, 2에 비해 각각 통계학적으로 유의하게 길었고(p<0.05), 대조군 1과 대조군 2간에는 통계학적 유의한 차이를 보이지 않았다.

단서 제공 횟수는 실험군에서 평균 0.38회가 제공되었으나 대조군 1, 2에서는 단서 제공된 경우가 없었다. 과제 실패율은 실험군에서 평균 4.58%를 보였으나 대조군 1, 2에서는 실패한 경우가 없었다(Table 2).

2) 3차원 가상현실 프로그램의 실험군과 대조군의 좌우 변수 비교

실험군에서 좌측 주사 시간은 평균 6.28초, 우측 주사 시간은 평균 2.23초로 통계학적으로 유의하게 좌측 주사 시간이 길었다(p<0.05). 좌측 단서 제공 횟수는 평균 0.41회, 우측 단서 제공 횟수는 평균 0.29회로 통계학적으로 유의하게 좌측 단서 제공 횟수가 증가되었다(p<0.05). 좌측 과제 실패율은 평균 6.67%, 우측 과제 실패율은 평균 0.00%로 통계학적으로 유의하게 좌측 과제 실패율이 증가되었다(p<0.05). 하지만 대조군 1, 대조군 2에서는 세 변수 모두에서 좌우측간의 통계학적 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3).

3) 3차원 가상현실 프로그램과 임상 측정 검사간의 비교

3차원 가상현실 프로그램의 편향각, 주사시간, 단서 제공 횟수, 과제 실패율은 직선 이분 검사상의 편향 정도와 각각 통계학적으로 유의한 상관관계를 나타내었다(Table 4). 3차원 가상현실 프로그램의 주사시간, 단서 제공 횟수는 단어 찾기 검사의 주사율과 각각 통계학적으로 유의한 상관관계

Table 3. Bi-directional Comparison of Parameters in 3-Dimensional Virtual Reality Unilateral Neglect Program in Each Groups

Parameters	Experimental group		Control group I		Control group II	
	Right	Left	Right	Left	Right	Left
Scanning time (sec)	2.23±0.46*	6.28±6.28	0.57±0.45	0.64±0.34	0.55±0.38	0.66±0.41
Number of cues	0.29±0.53*	0.41±0.52	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
Failure rate of mission (%)	0.00±0.00*	6.67±15.3	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00

Values are means±standard deviation. *p<0.05

Table 4. Correlation between Line Bisection Test and Parameters in 3-Dimensional Virtual Reality Unilateral Neglect Program

Variables	Correlation coefficient
Deviation angle (°)	0.604 [†]
Scanning time (sec)	0.839*
Number of cues	0.637 [†]
Failure rate of mission (%)	0.499 [†]

* p<0.01, [†] p<0.05

Table 5. Correlation between Letter Cancellation Test and Parameters in 3-Dimensional Virtual Reality Unilateral Neglect Program

Variables	Correlation coefficient
Deviation angle (°)	0.309
Scanning time (sec)	0.781*
Number of cues	0.621 [†]
Failure rate of mission (%)	0.440

* p<0.01, [†] p<0.05

를 나타내었으나 편향각, 과제 실패율은 통계학적 상관관계를 보이지 않았다(Table 5).

고 찰

뇌졸중으로 인한 편측 무시는 편측의 감각 자극에 대한 반응이 저하되거나, 감각 소거(sensory extinction), 그리기, 복사(copying), 읽기, 그림 따라 그리기(picture description)시 편측의 저하를 보이고, 기억하고 있는 장면의 묘사 시에도 편측 저하를 보이며, 근력 저하 없이 편측 운동 능력 저하(akinesia), 편측의 질병인식불능(anosognosia), 몸통인식불능(asomatognosia), 비대칭적 행동 등 여러 가지 양상을 나타내는 증후군같은 성격을 보이는 현상이다.⁵⁾ 편측 무시가 나타나는 신경인지 기전(neurocognitive model)으로는 크게 3가지가 제안되고 있다. 첫째, 도파민성 우측 뇌의 피질 구조(cortical structure)와 피질하 구조(subcortical structure)의 손상으로 인해 편측 공간에 대한 일반적 각성(general arousal)과 주의력(attention)이 저하되었다는 불충분 각성 가설; 둘째, 우측 뇌의 손상으로 인해 주의-이동 기전을 통해 편측에 대한 정위 편위(orientation bias)가 나타난다는 우측에 대한 정위 편위 가설; 셋째, 편측 공간의 대뇌내 표현(internal representation)의 장애 또는 비대칭적인 배치(asymmetric allocation) 때문이라는 공간 표현 결핍 가설이 있다.¹⁹⁾

환자에 따라 모든 현상이 나타나는 것이 아니므로 이에 대한 병리생태학적 접근뿐만 아니라 진단적, 치료적 접근도 달라질 수 있다. 따라서 편측 무시를 지각 또는 표현 장애(perceptual or representational deficit)와 운동 탐색 장애(motor exploration deficit)로 나누어 생각하고 있으며 이의 진단에 지각 또는 표현 장애는 직선 이분 검사가 중요하며 운동 탐색 장애는 목표 찾기 검사(target cancellation test)가 유용하다고 알려져 있다.^{6,18)} 또한 뇌졸중의 손상 부위에 따라 나타나는 현상이 달라 지각 또는 표현 장애는 우측 뇌의 측두엽, 두정엽, 후두엽 등과 연관성이 높고 운동 탐색 장애는 우측 뇌의 전두엽과 연관성이 높다고 알려져 있다.⁵⁾

최근 컴퓨터 공학의 발달에 힘입어 재활의학 영역에도

컴퓨터를 이용하고자 하는 노력이 지속되어 왔으며 이중 특히 시지각 영역에 대해 컴퓨터를 이용하여 모니터에 화면 구성을 다양하게 할 수 있으며 여러 가지 성질의 시각 자극을 구성할 수 있고 이에 대한 반응도 쉽게 정량화할 수 있어 많이 이용되고 있다.²⁴⁾ 또한 2001년 김 등¹⁾이 응시 위치 추적 시스템을 이용하여 모니터에 머리 움직임으로 표시하는 방법으로 편측 무시를 진단할 수 있는 가능성을 보고한 바와 같이 컴퓨터 프로그램을 키보드나 마우스를 쓰지 않고도 조작할 수 있는 기술의 발달로 편측 무시의 진단 시 문제점이었던 손의 운동에 의한 영향을 배제할 수 있게 되었다. 컴퓨터의 발달에 발맞추어 가상현실 기술도 눈부시게 성장하였으며 과거에 고가이면서도 실용성이 적은 부분에서만 쓰이던 것이 현재는 오락 기능, 교육 기능, 군사적 훈련, 물리적 재활, 의학 등에 기능적으로 사용할 수 있을 정도가 되었다. 특히 인지 재활에도 가상현실이 유용한가에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.²¹⁾ 가상환경(Virtual environment)이란 컴퓨터 프로그램을 이용하여 모니터나 Head-mounted display (HMD)로 표현되는 환경으로 정의되며, 가상현실이란 컴퓨터에 의해 구현된 환경, 즉 가상환경에서 컴퓨터와 상호작용(interaction)을 하는 경우로 정의된다. 가상현실의 장점으로는 3차원적인 환경을 구현할 수 있어 실제 환경을 대체할 수 있다는 점, 실제 환경의 재활 치료를 가상현실에 적용할 수 있다는 점, 결과를 비교적 쉽게 평가할 수 있다는 점, 뇌 유연성 과정(brain plasticity process)에 영향을 미칠 수 있다는 점 등이 있다.¹⁵⁾

가상현실은 실시간 컴퓨터 그래픽(real time computer graphic), 그래픽을 표현하는 시각적 표현 장치(visual display), 컴퓨터와 상호 작용하는데 필요한 체추적 장치(body tracking device)와 그 외의 다른 감각 입력 장치(sensory input device)로 구성되어 있다. 이 중 컴퓨터 그래픽은 2차원 프로그램과 3차원 프로그램으로 나누어 생각할 수 있는데 3차원 프로그램에 비해 2차원 프로그램은 집중하기 어렵고 상호 작용하기 어려우며 흥미도가 떨어지는 단점이 있어 본 연구에서는 최근 들어 널리 이용되고 있는 3차원 프로그램을 이용하였다. 또한 시각적 표현 장치 중에서는 몰입형

가상현실(immersive VR)을 구현할 수 있는 HMD나 헬멧(helmet)이 있고 비몰입형 가상현실(non-immersive VR)을 구현할 수 있는 일반적인 컴퓨터 모니터나 스크린이 있는데 본 연구에서는 집중하기 쉽고 적은 공간을 차지하며 피검사자의 머리 위치에 따라 보다 실제적인 가상 환경을 제공할 수 있다는 장점이 있는 HMD를 이용하였다. 일반적으로 컴퓨터와 상호 작용하는 데 필요한 장치로는 키보드, 마우스 등이 있으나, 본 연구에서는 마비 측의 운동 능력 저하로 인한 오류를 최소화하기 위해 피검사자의 원하는 위치를 추적할 수 있는 장치로 3차원 위치센서를 이용하였다. 이는 기존의 가상현실 프로그램에서 3차원 위치센서를 장갑에 부착하여 손의 위치 및 움직임을 인지하거나 옷에 부착하여 몸통의 위치 및 움직임을 인지하여 가상현실과 상호작용을 하는 방법과 유사하다.^{15,21,22)}

본 3차원 가상현실 프로그램을 이용한 연구를 통해 편측 무시 환자에 있어서 컴퓨터 프로그램에서도 정상 대조군에 비해 특징적으로 중심점이 편향되어 있음을 알 수 있었다. 이는 김 등¹⁾의 보고와 일치하는 것으로 본 연구에서는 편측 무시가 2차원 평면뿐만 아니라 3차원 공간에서도 같은 현상이 나타남을 확인할 수 있었다. 김 등¹⁾의 연구에는 카메라를 이용하여 추적하는 방법을 이용하였는데 일부의 환자에서 카메라의 인식 범위를 벗어나서 프로그램이 중단되었으며 대상군이 머리 움직임으로 프로그램을 작동하는 방법을 파악하는 데 시간이 걸렸던 문제가 있어 향후 해결 방법에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 보고한 바 있다. 본 프로그램에서는 HMD와 3차원 위치센서를 사용하였기 때문에 김 등¹⁾의 연구에서 문제점으로 지적되었던 카메라 범위 밖으로 환자의 머리가 돌아가는 문제는 쉽게 해결할 수 있었다.

본 연구에서는 비무시 측(우측)에 비해 무시 측(좌측)에 대한 반응이 느려짐을 확인할 수 있었다. 무시 측에 대한 반응이 느리게 나타나는 것은 1990년 Buonocore 등⁸⁾의 연구와 같은 결과로 가상현실에서도 실제 환경과 유사한 반응이 나타남을 알 수 있었다.

3차원 가상현실 프로그램과 임상적 측정 방법인 지면 검사에서의 결과를 비교해 볼 때 편향각은 직선 이분 검사 결과와 통계학적으로 유의한 상관관계를 보였으나 단어 찾기 검사와는 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 이는 직선 이분 검사는 주로 지각 또는 표현 장애의 측정에 유용하고 단어 찾기 검사는 운동 탐색 장애를 주로 측정하므로 편향각도 직선 이분 검사와 같이 지각 장애를 대변하는 것으로 생각된다. 그러나 편측 무시는 크게 지각 장애, 운동 탐색 장애의 두 가지 특성을 가지고 있으므로 하나의 검사 방법으로 진단할 수 있는 것이 아니라 여러 가지 검사 방법을 조합하여 진단하는 것이기 때문에 어떤 한 가지 검사만으로는 그 정도를 명확하게 할 수 없을 것으로 생각된다.⁴⁾ 3차원 가상현실 프로그램의 다른 변수인 주사 시간은 직선 이

분 검사뿐만 아니라 단어 찾기 검사와도 유의한 상관관계를 나타내는 것도 같은 이유일 것으로 생각한다. 향후 3차원 가상현실 프로그램의 변수 중 어떤 변수가 가장 정확한 변수인지 확인하는 보다 많은 연구가 필요하지만 편측 무시를 평가함에 있어 하나의 변수보다는 여러 변수를 조합하여 평가하는 것이 바람직할 수도 있다고 생각한다.

컴퓨터 경험이 풍부한 대조군과 그렇지 않은 대조군을 나누어 비교하여 보았을 때 3차원 가상현실 프로그램의 각각의 변수에서 통계학적 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 본 가상현실 프로그램이 매우 쉽게 구성되어 컴퓨터 경험이 없거나 적어도 큰 무리 없이 사용할 수 있음을 간접 증명하는 것으로 생각된다. 특히 키보드나 마우스와 같은 이전의 컴퓨터 사용 시 이용되었던 입력 장치를 사용하지 않고 머리의 움직임만으로 간단하게 조작할 수 있어 보다 쉽게 수행할 수 있었던 것으로 생각한다. 따라서 본 프로그램은 컴퓨터 경험이 적으며 신체적 장애가 심한 실험군에서도 무리 없이 진행될 수 있었다고 생각하고 또한 실험군에서 보인 반응이 인지 기능의 영향보다는 편측 무시 때문임을 유추할 수 있었다. 또한 컴퓨터 프로그램을 사용한 검사가 기존의 검사용지를 사용하는 방법보다 검사 및 결과 획득에 드는 시간을 단축시키는 장점을 보인다는 김 등¹⁾의 보고와 같이 향후 가상현실을 이용한 편측 무시 정도의 측정이 유용할 수 있으리라고 생각한다.

가상현실 프로그램을 인지 재화에 응용하였을 때 발생할 수 있는 문제로 컴퓨터병(cybersickness)이라고 알려져 있는 구역, 구토, 안구긴장, 지남력 장애, 운동실조증, 현훈 등이 나타날 수 있다.²¹⁾ Regan 등²⁰⁾의 보고에 의하면 정상인이 20분간 몰입형 가상현실에 노출되었을 경우 61%에서 약간의 권태감을 느끼는 것으로 알려져 있다. 특히 이러한 현상은 신경학적 이상이 경우 문제가 될 수 있다. 이러한 부작용을 방지하기 위해 모니터나 스크린의 크기를 변화시키거나 보다 사실적인 환경을 구현하는 등의 방법이 이용할 수도 있으나 아직까지 어떠한 방법이 가장 효과적인지는 알려져 있지 않다.²¹⁾ 본 연구에 참여한 56명의 대상군 중 심각한 컴퓨터병을 보인 경우는 없었으나 3명의 환자(18.8%)와 7명의 정상 대조군(17.5%)에서 미약한 구역 증상을 호소하였다. 이전의 연구^{20,21)}와 다르게 본 가상현실 프로그램에서 컴퓨터병이 적게 나타난 것은 프로그램 구성이 비교적 간단하며 피검사자의 움직임이 적었기 때문으로 생각한다.

본 연구의 한계점으로 시지각 능력 중 하나인 반맹(hemianopsia)의 정도에 대한 측정이 이루어지지 않았다는 점을 생각할 수 있다. 1999년 Doricchi과 Angelelli¹⁰⁾은 편측 무시와 완전한 반맹이 함께 있는 환자에서 직선 이분 검사상 편측 무시만 있는 환자에 비해 유의하게 편향이 증가한다고 보고하였으며 불완전 반맹의 영향에 대해서는 지속적인 연구가 필요할 것이라고 보고하였다. 본 연구에서 편측 무시와 함께 반맹이 있는 경우 3차원 가상현실 프로그램의

어떠한 변수에 영향을 미치는 지에 대해서는 향후 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각한다.

결 론

본 연구는 16명의 뇌졸중으로 인한 좌측 편측 무시 환자와 컴퓨터 경험에 따라 각각 20명씩 나눈 40명의 정상인을 대상으로 3차원 가상현실 프로그램을 적용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

편측 무시 환자에 있어 정상 대조군에 비해 3차원 가상현실 프로그램에서 중심점 편향의 증가 및 무시측으로의 반응이 유의하게 느리게 나타나고, 임상적 측정 방법인 직선이분 검사와 단어 찾기 검사와 가상현실 프로그램간에 유의한 상관 관계가 있었다.

상기 연구 결과를 통해 마비측 상지의 운동 능력의 저하에 관계없이 현실 상황을 경험할 수 있는 3차원 가상현실 프로그램을 이용하여 뇌졸중에 의한 편측 무시를 정량적으로 평가할 수 있음을 알 수 있었다. 향후 본 가상현실 프로그램은 뇌졸중에 의한 편측 무시를 평가하는 데 있어 임상적으로 유용하게 이용될 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) 김민영, 전세일, 박은숙, 이정준, 김재희: 편측 시각 무시에 대한 컴퓨터 진단 프로그램의 시도. 대한재활의학회지 2001; 25: 39-50
- 2) 안재중, 하태운, 한승상, 이준영, 선광진, 노성만: 직선이분검사에 의한 뇌졸중 환자의 시각무시에 대한 고찰. 대한재활의학회지 1995; 19: 540-546
- 3) Anton HA, Hershler C, Lloyd P, Murray D: Visual neglect and extinction: a new test. Arch Phys Med Rehabil 1988; 36: 227-237
- 4) Azouvi P, Samuel C, Louis-Dreyfus A, Bernati T, Bartolomeo P, Beis JM, Chokron S, Leclercq M, Marchal F, Martin Y, De Montety G, Olivier S, Perennou D, Pradat-Diehl P, Prairial C, Rode G, Sieroff E, Wiart L, Rousseaux M: Sensitivity of clinical and behavioural tests of spatial neglect after right hemisphere stroke. J Neurol Neurosurg Psychiatry 2002; 73: 160-166
- 5) Binder J, Marshall R, Lazar R, Benjamin J, Mohr P: Distinct syndromes of hemineglect. Arch Neurol 1992; 49: 1187-1194
- 6) Bisiach E, Bulgarelli C, Sterzi R, Vallar G: Line bisection and cognitive plasticity of unilateral neglect of space. Brain Cogn 1983; 2: 32-38
- 7) Brooks BM, Rose FD, Attree EA, Elliot-Square A: An evaluation of the efficacy of training people with learning disabilities in a virtual environment. Disabil Rehabil 2002; 24: 622-626
- 8) Buonocore M, Casale R, Arrigo A: Psycho-motor skills in hemiplegic patients: reaction time differences related to hemispheric lesion side. Neurophysiol Clin 1990; 20: 203-206
- 9) Damasio AR, Damasio H, Chui HC: Neglect following damage to frontal lobe or basal ganglia. Neuropsychologia 1980; 18: 123-132
- 10) Doricchi F, Angelelli P: Misrepresentation of horizontal space in left unilateral neglect: role of hemianopia. Neurology 1999; 52: 1845-1852
- 11) Gourlay D, Lun KC, Lee YN, Tay J: Virtual reality for re-learning daily living skills. Int J Med Inf 2000; 60: 255-261
- 12) Heilman KM, Valenstein E: Frontal lobe neglect in man. Neurology 1972; 22: 660-604
- 13) Heilman KM, Watson RT, Valenstein E: Neglect and related disorders. In: Heilman KM, Valenstein E, editors. Clinical neuropsychology, 2nd ed, New York: Oxford Univ Pr, 1985, pp243-294
- 14) Jehkonen M, Ahonen JP, Dastidar P, Koivisto AM, Laippala P, Vilkkki J, Molnar G: Visual neglect as a predictor of functional outcome one year after stroke. Acta Neurol Scand 2000; 101: 195-201
- 15) Johnson DA, Rose FD, Rushton S, Pentland B, Attree EA: Virtual reality: A new prosthesis for brain injury rehabilitation. Scot Med J 1998; 43: 81-83
- 16) Kaizer F, Komer-Bitensky N, Mayo N, Becker R, Coopersmith H: Response time of stroke patients to a visual stimulus. Stroke 1988; 19: 335-339
- 17) Lee JH, Ku J, Cho W, Hahn WY, Kim IY, Lee SM, Kang Y, Kim DY, Yu T, Wiederhold BK, Wiederhold MD, Kim SI: A virtual reality system for the assessment and rehabilitation of the activities of daily living. Cyberpsychol Behav 2003; 6: 383-388
- 18) Mesulam MM: A cortical network for directed attention and unilateral neglect. Ann Neurol 1981; 10: 309-325
- 19) Pierce SR, Buxbaum LJ: Treatments of unilateral neglect: A review. Arch Phys Med Rehabil 2002; 83: 256-268
- 20) Regan EC, Price KR: The frequency of occurrence and severity of side-effects of immersion virtual reality. Aviat Space Environ Med 1994; 65: 527-530
- 21) Rizzo AA, Buckwalter JG, Neumann U: Virtual reality and cognitive rehabilitation: a brief review of the future. J Head Trauma Rehabil 1997; 12: 1-15
- 22) Rizzo AA: Virtual reality and disability: emergence and challenge. Disabil Rehabil 2002; 24: 567-569
- 23) Schenkenberg T, Bradford DC, Ajax ET: Line bisection and unilateral visual neglect in patients with neurologic impairment. Neurology 1980; 30: 509-517
- 24) Tegner R, Levander M: The influence of stimulus properties on visual neglect. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1991; 54: 882-887
- 25) Vuilleumier P, Valenza N, Mayer E, Reverdin A, Landis T: Near and far visual space in unilateral neglect. Ann Neurol 1998; 43: 406-410

- 26) Watson RT, Valenstein E, Heilman KM: Thalamic neglect. Possible role of the medial thalamus and nucleus reticularis in behavior. Arch Neurol 1981; 38: 501-506
- 27) Weintraub S, Mesulam MM: Visual hemispatial inattention: stimulus parameters and exploratory strategies. J Neurol Neuropsychiatr 1988; 51: 1481-1488
- 28) Zoltan B: Vision, perception, and cognition: a manual for the evaluation and treatment of the neurologically impaired adult, 3rd ed, New Jersey: SLACK Incorporated, 1996, pp1-52
-