



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0057267
(43) 공개일자 2025년04월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 11/00 (2006.01) B25J 13/08 (2006.01)
B25J 9/16 (2006.01) G06V 40/16 (2022.01)
G09B 9/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B25J 11/001 (2013.01)
B25J 13/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0140858
(22) 출원일자 2023년10월20일
심사청구일자 2023년10월20일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
대구대학교 산학협력단
경상북도 경산시 진량읍 대구대로 201 (대구대학교)
(72) 발명자
김덕환
서울특별시 양천구 목동로 230, 103동 1004호(목동, 아이파크아파트)
이미란
경상북도 경산시 진량읍 대구대로 201 (대구대학교 정보통신대학)
(74) 대리인
양성보

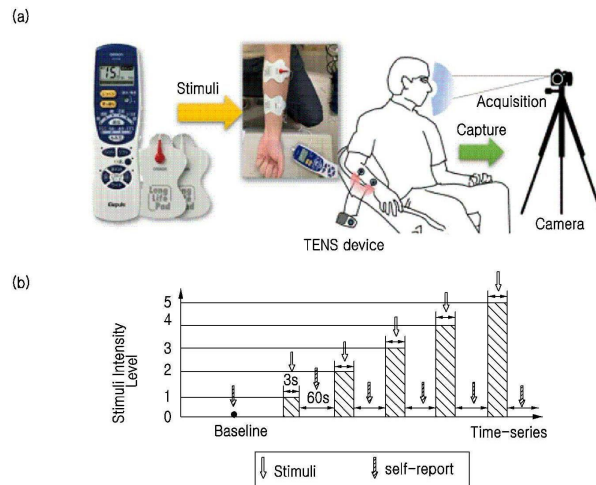
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **돌봄 및 간호교육 환경에서 사용되는 환자 로봇의 통증표현 방법과 시스템**

(57) 요약

돌봄 및 간호교육 환경에서 사용되는 환자 로봇의 통증표현 방법과 시스템이 개시된다. 일 실시예에 따른 통증표현 시스템에 의해 수행되는 통증 표현 방법은, 통증 자극과 관련된 사용자의 통증 표현 이미지를 획득하는 단계; 및 통증 측정 모델을 이용하여 상기 획득된 통증 표현 이미지로부터 통증 강도를 측정하는 단계를 포함하고, 상기 통증 측정 모델은, 이전의 통증 표현 이미지와 현재의 통증 표현 이미지 사이의 유사성 비교를 통해 통증 강도 변화가 측정되도록 훈련된 것일 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

B25J 9/163 (2013.01)

G06V 40/174 (2022.01)

G09B 9/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415188402

과제번호 P0017124

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국산업기술진흥원

연구사업명 신산업융합형임베디드시스템전문인력양성사업

연구과제명 신산업융합 생태계 구축을 위한 인공지능 기반 임베디드시스템 고급인력양성(3차년도)

기 여 율 1/2

과제수행기관명 (사단)한국정보산업연합회

연구기간 2023.03.01 ~ 2024.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 7101210000

과제번호 71012-1

부처명 교육부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 LINC3.0산학공동기술개발사업

연구과제명 (LINC3.0)차세대 이동형 모빌리티를 위한 이동통신 기반의 고정밀 위치 측위 단말기 및 AI 관제 기반 기술 개발

기 여 율 1/2

과제수행기관명 인하대학교 산학협력단

연구기간 2023.06.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

통증 표현 시스템에 의해 수행되는 통증 표현 방법에 있어서,

통증 자극과 관련된 사용자의 통증 표현 이미지를 획득하는 단계; 및

통증 측정 모델을 이용하여 상기 획득된 통증 표현 이미지로부터 통증 강도를 측정하는 단계

를 포함하고,

상기 통증 측정 모델은, 이전의 통증 표현 이미지와 현재의 통증 표현 이미지 사이의 유사성 비교를 통해 통증 강도 변화가 측정되도록 훈련된 것을 특징으로 하는 통증 표현 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 획득하는 단계는,

상기 획득된 통증 표현 이미지를 통증 데이터베이스에 수집하는 단계

를 포함하는 통증 표현 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 획득하는 단계는,

전기신경 자극기(tens)를 통해 사용자의 신체 일부에 자극 테스트를 수행함에 따라 카메라 통해 사용자의 얼굴 이미지를 촬영하는 단계

를 포함하고,

상기 전기신경 자극기는, 복수 개의 자극 수준으로 구성되는 것을 특징으로 하는 통증 표현 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 획득하는 단계는,

상기 사용자의 신체 일부에 부착된 전기치료기를 통해 상기 전기신경 자극기로부터 발생하는 자극에 대한 통증 데이터를 수집하는 단계

를 포함하는 통증 표현 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 획득하는 단계는,

상기 수집된 통증 데이터에 대해 표정이 표현된 얼굴 이미지를 통증 표현 이미지로서 획득하는 단계

를 포함하는 통증 표현 방법.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 획득하는 단계는,

사용자로부터 각 자극 수준에 대한 자극 테스트가 완료됨에 따라 시각적 아날로그 척도와 주관적 통증 점수로 구성된 설문 조사에 대한 응답으로 설문 결과를 획득하는 단계

를 포함하는 통증 표현 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 통증 강도를 측정하는 단계는,

상기 측정된 통증 강도와 설문 결과를 이용하여 로봇의 얼굴 아바타를 생성하는 단계

를 포함하는 통증 표현 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 통증 측정 모델은, 샴(Siamese) 네트워크 또는 트리플렛(Triplet) 네트워크로 구성되고,

상기 샴 네트워크 또는 트리플렛 네트워크는, 동일한 공유 가중치와 동일한 구조의 서브 네트워크를 포함하고, 상기 서브 네트워크로부터 특징 벡터의 거리를 계산하기 위한 계층으로 구성되는 것을 특징으로 하는 통증 표현 방법.

청구항 9

통증 표현 시스템에 있어서,

통증 자극과 관련된 사용자의 통증 표현 이미지를 획득하는 이미지 획득부; 및

통증 측정 모델을 이용하여 상기 획득된 통증 표현 이미지로부터 통증 강도를 측정하는 통증 측정부

를 포함하고,

상기 통증 측정 모델은, 이전의 통증 표현 이미지와 현재의 통증 표현 이미지 사이의 유사성 비교를 통해 통증 강도 변화가 측정되도록 훈련된 것을 특징으로 하는 통증 표현 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 아래의 설명은 통증을 표현하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 대부분의 관리 훈련 연구는 수동으로 결과를 분석하기 위해 통계적 또는 경험적 기법을 사용한다. 이러한 방법은 각 매개변수의 분석에 적합하며, 관리 훈련에 대한 매개변수의 영향을 조사할 때 사용하기 쉽다. 그러나 교육생들이 실시간 시스템에서 치료를 정량적으로 평가하기 어렵고, 돌봄 교육을 마친 후 최종 점수를 자동으로 산출한다는 측면에서 한계가 있다.

[0004] 따라서, 로봇에 탑재된 센서로부터 획득된 데이터를 기반으로 로봇의 통증 수준뿐만 아니라 관리 및 간호 기술을 자동으로 추론할 수 있는 방법을 제시할 필요가 있다. 또한, 환자가 간병인과 의사소통에 어려움을 겪을 수 있으므로 간병인은 주기적으로 환자가 통증을 느끼는지 여부를 조사하고 치료 중 환자의 얼굴에 나타나는 고통스러운 표정을 관찰해야 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 통증 추론 결과를 기반으로 로봇의 통증 표현 방법 및 시스템을 제공할 수 있다.
- [0007] 훈련 환경에서 간병인의 기술 향상을 위해 환자 로봇의 통증 강도를 표현하기 위한 시각적 피드백을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0009] 통증 표현 시스템에 의해 수행되는 통증 표현 방법은, 통증 자극과 관련된 사용자의 통증 표현 이미지를 획득하는 단계; 및 통증 측정 모델을 이용하여 상기 획득된 통증 표현 이미지로부터 통증 강도를 측정하는 단계를 포함하고, 상기 통증 측정 모델은, 이전의 통증 표현 이미지와 현재의 통증 표현 이미지 사이의 유사성 비교를 통해 통증 강도 변화가 측정되도록 훈련된 것일 수 있다.
- [0010] 상기 획득하는 단계는, 상기 획득된 통증 표현 이미지를 통증 데이터베이스에 수집하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0011] 상기 획득하는 단계는, 전기신경 자극기를 통해 사용자의 신체 일부에 자극 테스트를 수행함에 따라 카메라 통해 사용자의 얼굴 이미지를 촬영하는 단계를 포함하고, 상기 전기신경 자극기는, 복수 개의 자극 수준으로 구성되는 것일 수 있다.
- [0012] 상기 획득하는 단계는, 상기 사용자의 신체 일부에 부착된 전기치료기를 통해 상기 전기신경 자극기로부터 발생하는 자극에 대한 통증 데이터를 수집하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0013] 상기 획득하는 단계는, 상기 수집된 통증 데이터에 대해 표정이 표현된 얼굴 이미지를 통증 표현 이미지로서 획득하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0014] 상기 획득하는 단계는, 사용자로부터 각 자극 수준에 대한 자극 테스트가 완료됨에 따라 시각적 아날로그 척도와 주관적 통증 점수로 구성된 설문 조사에 대한 응답으로 설문 결과를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0015] 상기 통증 강도를 측정하는 단계는, 상기 측정된 통증 강도와 설문 결과를 이용하여 로봇의 얼굴 아바타를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0016] 상기 통증 측정 모델은, 샴(Siamese) 네트워크 또는 트리플렛(Triplet) 네트워크로 구성되고, 상기 샴 네트워크 또는 트리플렛 네트워크는, 동일한 공유 가중치와 동일한 구조의 서브 네트워크를 포함하고, 상기 서브 네트워크로부터 특징 벡터의 거리를 계산하기 위한 계층으로 구성되는 것일 수 있다.
- [0017] 통증 표현 시스템은, 통증 자극과 관련된 사용자의 통증 표현 이미지를 획득하는 이미지 획득부; 및 통증 측정 모델을 이용하여 상기 획득된 통증 표현 이미지로부터 통증 강도를 측정하는 통증 측정부를 포함하고, 상기 통증 측정 모델은, 이전의 통증 표현 이미지와 현재의 통증 표현 이미지 사이의 유사성 비교를 통해 통증 강도 변화가 측정되도록 훈련된 것일 수 있다.

발명의 효과

- [0019] 통증 표현 이미지에 대해 통증 강도를 정량적으로 측정하고, 측정된 통증 강도를 기반으로 로봇의 통증을 표현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 일 실시예에 있어서, 통증 표현 시스템의 구성을 설명하기 위한 블록도이다.
- 도 2는 일 실시예에 있어서, 통증 표현 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 3은 일 실시예에 있어서, 통증 데이터 수집 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 일 실시예에 있어서, RU-PITENS 데이터베이스의 통증 표현 이미지의 예이다.

도 5는 일 실시예에 있어서, 통증 측정 모델의 구조를 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 일 실시예에 있어서, RU-PITENS 데이터베이스의 설문 결과를 설명하기 위한 그래프이다.

도 7은 일 실시예에 있어서, 아바타의 표정을 애니메이션화하는 방법과 애니메이터를 이용한 표정 전환의 예이다.

도 8은 일 실시예에 있어서, 피험자로부터 삼 네트워크를 사용한 통증 강도의 결과를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 이하, 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0024] 도 1은 일 실시예에 있어서, 통증 표현 시스템의 구성을 설명하기 위한 블록도이고, 도 2는 일 실시예에 있어서, 통증 표현 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0025] 통증 표현 시스템(100)의 프로세서는 이미지 획득부(110) 및 통증 측정부(120)를 포함할 수 있다. 이러한 프로세서의 구성요소들은 통증 표현 시스템에 저장된 프로그램 코드가 제공하는 제어 명령에 따라 프로세서에 의해 수행되는 서로 다른 기능들(different functions)의 표현들일 수 있다. 프로세서 및 프로세서의 구성요소들은 도 2의 통증 표현 방법이 포함하는 단계들(210 내지 220)을 통해 통증 표현 시스템을 제어할 수 있다. 이때, 프로세서 및 프로세서의 구성요소들은 메모리가 포함하는 운영체제의 코드와 적어도 하나의 프로그램의 코드에 따른 명령(instruction)을 실행하도록 구현될 수 있다.

[0026] 프로세서는 통증 표현 방법을 위한 프로그램의 파일에 저장된 프로그램 코드를 메모리에 로딩할 수 있다. 예를 들면, 통증 표현 시스템에서 프로그램이 실행되면, 프로세서는 운영체제의 제어에 따라 프로그램의 파일로부터 프로그램 코드를 메모리에 로딩하도록 통증 표현 시스템을 제어할 수 있다. 이때 프로세서는 이미지 획득부(110) 및 통증 측정부(120) 각각은 메모리에 로딩된 프로그램 코드 중 대응하는 부분의 명령을 실행하여 이후 단계들(210 내지 220)을 실행하기 위한 프로세서의 서로 다른 기능적 표현들일 수 있다.

[0027] 단계(210)에서 이미지 획득부(110)는 통증 자극과 관련된 사용자의 통증 표현 이미지를 획득할 수 있다. 이미지 획득부(110)는 획득된 통증 표현 이미지를 통증 데이터베이스에 수집할 수 있다. 이미지 획득부(110)는 전기신경 자극기(tens)를 통해 사용자의 신체 일부에 자극 테스트를 수행함에 따라 카메라 통해 사용자의 얼굴 이미지를 촬영할 수 있다. 이때, 전기신경 자극기는, 복수 개의 자극 수준으로 구성될 수 있다. 이미지 획득부(110)는 사용자의 신체 일부에 부착된 전기치료를 통해 전기신경 자극기로부터 발생하는 자극에 대한 통증 데이터를 수집할 수 있다. 이미지 획득부(110)는 수집된 통증 데이터에 대해 표정이 표현된 얼굴 이미지를 통증 표현 이미지로서 획득할 수 있다. 이미지 획득부(110)는 사용자로부터 각 자극 수준에 대한 자극 테스트가 완료됨에 따라 시각적 아날로그 척도와 주관적 통증 점수로 구성된 설문 조사에 대한 응답으로 설문 결과를 획득할 수 있다.

[0028] 단계(220)에서 통증 측정부(120)는 통증 측정 모델을 이용하여 획득된 통증 표현 이미지로부터 통증 강도를 측정할 수 있다. 여기서, 통증 측정 모델은, 삼(Siamese) 네트워크 또는 트리플렛(Triples) 네트워크로 구성되고, 삼 네트워크 또는 트리플렛 네트워크는, 동일한 공유 가중치와 동일한 구조의 서브 네트워크를 포함하고, 서브 네트워크로부터 특징 벡터의 거리를 계산하기 위한 계층으로 구성될 수 있다. 예를 들면, 통증 측정부(120)는 측정된 통증 강도를 정량적으로 수치화할 수 있고, 수치화된 값을 그래프와 같은 시각적 수단을 통해 시각화할 수 있다. 통증 측정부(120)는 측정된 통증 강도와 설문 결과를 이용하여 로봇의 얼굴 아바타를 생성할 수 있다.

[0029] 도 3은 일 실시예에 있어서, 통증 데이터 수집 동작을 설명하기 위한 도면이다.

[0030] 통증 측정 시스템은 통증 자극과 관련된 사용자의 통증 표현 이미지를 획득할 수 있다. 통증 표현 이미지를 획득하기 위해 사용자(참가자)에 대한 통증 측정 실험이 수행될 수 있다. 표 1을 참고하면, 41명의 일본 피험자(남자 26명, 여자 15명)가 통증 측정 실험에 참여할 수 있다. 통증 표현 이미지 분석을 위해 남성 26명(평균 연령 46.6 ± 3.4), 여성 15명(평균 연령 55.8 ± 2.4) 등 41명의 피험자의 통증 표현 이미지(얼굴 이미지)가 획득될 수 있다. 말초신경장애나 기타 통증 증상, 근골격계 또는 안면근육반응장애, 외상, 정형외과 손 수술, 현재

약물치료를 받은 이력이 있는 피험자는 단 한 명도 없었다. 또한, 각 피험자에게 연구의 목적을 보고하였으며, 참가자 전원이 동의서에 서명하여 체험에 동의하였다. 실험 중에 참가자들의 안전을 보장하기 위해 관찰될 수 있다. 또한, 얼굴 이미지가 포함된 데이터베이스를 공개적으로 사용할 수 있는 데이터베이스로 사용하는 것에 대한 동의를 구했으며, 모든 참가자가 동의했다.

표 1: TENS 장치(RU-PITENS) 데이터베이스를 사용한 참가자의 성별 및 연령 통증 강도에 대한 인구 통계

Table 1 Demographics of the participant's gender and age in pain intensity using the TENS device (RU-PITENS) database

Pain intensity using the TENS device (RU-PITENS) database					
Gender	Measure	Age range			
		20 to 29	40 to 49	50 to 59	60 to 69
Male	N.S	11	5	5	5
Female		-	5	5	5
Total		11	10	10	10
Male	M.A	23.7 (2.1)	45.0 (4.6)	53.6 (3.0)	64.0 (3.9)
Female		-	45.2 (2.3)	56.0 (1.6)	66.2 (3.3)
Total		23.7 (2.1)	45.0 (4.6)	53.6 (3.0)	64.0 (3.9)

Note: N.S and M.A indicate the number of subjects and the mean age, respectively. Numbers in parentheses are standard deviations.

표 1에서 N.S & M.A는 피험자 수와 평균 연령을 각각 나타낸다. 괄호 안의 숫자는 표준 편차이다.

경피적 전기신경 자극(TENS)은 열 또는 압력 자극에 비해 저렴하고, 비침습적이며, 사용하기 쉽다는 장점이 있기 때문에 통증 상태를 평가하기 위해 근육을 자극하는 데 사용되어 왔다. TENS 장치는 일상생활에서 근육 치료에 자주 사용되며, 높은 수준(빈도)으로 급성 통증 상황을 유도할 수 있다.

통증 측정 시스템은 통증 데이터베이스를 수집하기 위해 HV-F128 전기치료기(OMRON Co., Ltd., Japan)를 사용할 수 있다. 이때, 참가자의 신체 일부에 전기치료기가 부착될 수 있다. 예를 들면, 오른쪽 팔 피부에는 세탁 후 최대 150회까지 재사용이 가능한 HV-LLPAD 내구성 접착 패드 2개(OMRON Co., Ltd., Japan)가 부착될 수 있다. 실험은 참가자가 TENS 수준(주파수)이 증가하거나 최대 수준(TENS 출력은 5개의 자극 수준을 가지며 주파수는 0~1,200Hz 범위에 있음)에 도달했을 때 더 이상 고통을 참을 수 없을 때까지 수행될 수 있다. 도 3을 참고하면, TENS 장치를 이용한 통증 자극 환경(b)과 통증 표현 이미지를 획득(a)하는 동작을 나타낸다. 실험 중 참가자들은 의자에 앉아 오른팔에 TENS를 부착하고 전면 카메라를 응시한다(도 3(a)). 팔 근육은 TENS 장치를 통해 약 1~3초간 자극을 받았고, 얼굴 이미지는 초당 3~5프레임으로 카메라에서 획득할 수 있다. 도 3(b)는 실험 프로토콜을 나타내며, 피실험자들은 각성(SAM-A)에 대한 자기평가 마니킨(SAM) 척도, 원자가(SAM-V)에 대한 SAM 척도, 각 수준의 말기에 대한 주관적 통증 수준 평가가 수행될 수 있다.

통증 측정 시스템은 획득된 통증 표현 이미지를 통증 데이터베이스에 수집할 수 있다. 도 4를 참고하면, RU-PITENS 데이터베이스의 통증 표현 이미지의 예이다.

도 5는 일 실시예에 있어서, 통증 측정 모델의 구조를 설명하기 위한 도면이다.

통증 측정 시스템은 RU-PITENS 데이터베이스의 순차적인 통증 표현 이미지에서 통증 얼굴 표정을 나타내는 아바타를 생성할 수 있다. 이때, 통증 표현 이미지에는 사용자 얼굴에 통증이 표현된 얼굴 이미지일 수 있다. 이 외에도 얼굴뿐만 아니라 사용자 신체와 관련하여 통증이 표현되어 있을 수도 있다. 통증 측정 시스템은 RU-PITENS 데이터베이스의 얼굴 이미지를 사용하여 아바타를 생성하지만, RU-PITENS 데이터베이스의 통증 표현 이미지는 통증 상태의 시작부터 중단까지의 표현 강도에 대한 정량적인 값(기준)을 가지고 있지 않다. 다시 말해, 통증은 개인에 따라 다르게 측정할 수 있는 주관적인 정보이기 때문에 통증의 종류를 구별하고 새로운 입력 데이터에 정확한 통증 라벨을 제공하기 어렵다. 따라서, 검증된 모델을 사용하여 통증 강도를 측정할 필요가 있다. 통증 측정 시스템은 통증 측정 모델을 이용하여 통증 표현 이미지로부터 통증 강도를 측정할 수 있다. 이러한 통증 측정 모델은 삼(Siamese) 네트워크와 트리플렛(Triplet) 네트워크로 구성되어 이전의 통증 표현 이미지(얼굴 이미지)와 현재의 통증 표현 이미지(얼굴 이미지) 사이의 통증 강도 변화가 측정되도록 훈련될 수 있다.

통증 측정 시스템은 통증 측정 모델에 구성된 삼 네트워크와 트리플렛 네트워크를 사용하여 RU-PITENS 데이터베이스

이스의 통증 표현 이미지의 통증 강도를 측정할 수 있다. 상기 네트워크는 두 입력 사이의 유사성을 나타내는 하나의 출력을 제공한다. 많은 연구에서 현재의 감정에서 다음 가정으로 감정을 표현하면서 얼굴 표정이 점차 변하기 때문에 얼굴 표정 분석 방법으로 활용되어 왔다. 삼 네트워크 또는 트리플렛 네트워크는 동일한 공유 가중치와 구조를 가진 두 개 또는 세개의 자매 네트워크(서브 네트워크)를 가지고 있으며, 자매 네트워크로부터 특징 벡터의 거리를 계산하기 위한 계층으로 구성된다. 손실 함수를 위해 $Loss_{siamese}$ (수학식 1)와 $Loss_{triplet}$ (수학식 2)을 사용하여 지수 손실이 채택될 수 있다.

수학식 1:

$$Loss_{siamese} = \min \sum_{x_0, x_1} \exp(g_0(x_0) - g_1(x_1))$$

수학식 2:

$$Loss_{triplet} = \min \sum_{x_0, x_1, x_2} \exp(g_0(x_0) - g_1(x_1)) - \exp(g_0(x_0) - g_2(x_2))$$

여기서, $g_i(x_i)$ 는 각 분기 출력을 나타낸다. 트리플렛 네트워크의 손실에서, $g_0(x_0)$ 은 앵커 입력이고, 앵커에서 양의 입력까지의 거리는 최소화되고, 앵커에서 음의 입력까지의 거리는 최대화된다.

도 5에서 보는 바와 같이, 자매 네트워크는 기본적인 ConvNet 구조를 가지며, 네트워크 아키텍처는 경험적으로 조정된 하이퍼 파라미터의 결과에 기초하여 3개의 ConvNet 계층과 48개의 유닛으로 완전 연결된 계층으로 구성될 수 있다. 자매 네트워크를 병합하기 위해, 두 삼 네트워크의 출력을 계산하는 계층이 마지막 계층에 추가될 수 있다.

도 6은 일 실시예에 있어서, RU-PITENS 데이터베이스의 설문 결과를 설명하기 위한 그래프이다.

통증 측정 시스템은 사용자로부터 각 자극 수준에 대한 자극 테스트가 완료됨에 따라 시각적 아날로그 척도와 주관적 통증 점수로 구성된 설문 조사에 대한 응답으로 설문 결과를 획득할 수 있다. 도 6(a) 내지 6(c)는 RU-PITENS 데이터베이스에의 조사 결과이고, 도 6(d) 내지 도 6(f)는 모든 피험자 성별 그룹에 따른 조사 결과이고, 도 6(g) 내지 도 6(i)는 연령대별 그룹에 따른 조사 결과를 나타낸 것이다. 검정 방법은 분산 분석(ANOVA)과 Tukey의 방법(사후 분석)을 사용하였다. 유의 수준은 $\alpha = 0.05$ 로 설정될 수 있다. 별표(*)는 $p < 0.05$ 에서 통계적 유의성을 나타내고, 이중 별표(**)는 $p < 0.01$ 에서 통계적 유의성을 나타낸다. SPS와 Lv는 주관적 통증 점수와 자극 수준을 나타낸다.

RU-PITENS 데이터베이스에서 통증 강도의 영향을 조사하기 위해 참가자들은 각 수준에 대한 자극 테스트가 끝난 직후 설문지에 응답할 수 있다. 설문 조사는 시각적 아날로그 척도(VAS)와 주관적 통증 점수(SPS)로 구성될 수 있다. VAS는 사용하기 쉽고 통증 강도의 변화를 평가하는 데 자주 사용되며, SPS 조사는 통증의 주관적 지표로 설계될 수 있다. 가치 측면에서 SPS는 통증이 전혀 없음 = 0, 매우 희미한 통증(그냥 눈에 띄는) = 1, 약한 통증 = 2, 중간 정도의 통증 = 3, 강한 통증 = 4, 매우 강한 통증 = 5로 분류할 수 있다. 도 6(a) 내지 도 6(c)에서 보는 바와 같이, 자극 수준에 따라 SPS가 지속적으로 증가하였으며, 자극 수준 간에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다($F = \text{delay}$, $p < 0.01$, ANOVA test). 쾌락 점수의 경우 자극 수준에 비해 점수가 감소하여 통증 자극이 피험자의 감정에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. SPS의 최대 수준(Lv.5)과 최소 수준(Lv.1) 사이에는 약 2.0의 차이가 있었다($Q = 9.89$, $p < 0.01$, Tukey의 사후 테스트). 자극 수준에 따른 각성 점수의 증가는 자극의 부정적 영향을 시사했으며 최소(Lv.1)와 최대(Lv.5) 자극 수준($Q = 14.42$, $p < 0.01$, Tukey's post-hoc test) 사이에 약 3.81의 차이를 보였다. 또한, 성별에 대한 모든 매개변수를 평가한 결과 남녀 집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 그러나, 연령대별(20대, 40대, 50대, 60대)로 조사 통계를 분석한 결과, 조사 결과마다 차이가 있었다. SPS와 각성 점수의 경우 Lv.에서 Lv.5(ANOVA test)까지 모든 연령대에서 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 쾌락 점수에서는 Lv.2와 Lv.5(ANOVA test)에서 유의한 차이가 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 Lv.5(최대 자극 수준)의 통증 영상을 활용하여 로봇의 얼굴 아바타가 생성될 수 있다.

도 7은 일 실시예에 있어서, 아바타의 표정을 애니메이션화하는 방법과 애니메이터를 이용한 표정 전환의 예이다.

[0050] 통증 측정 시스템은 UNBC-McMaster 데이터베이스를 사용하여 통증을 표현하는 아바타를 생성하는 데 사용된 RUPITENS 데이터베이스의 얼굴 이미지에서 통증 측정 모델을 훈련시킬 수 있다. UNBC-McMaster 어깨 통증 데이터베이스는 어깨 운동 범위에 대한 실험을 통해 수집된 어깨 통증 환자 25명의 통증 표현 이미지를 포함한다. UNBC-McMaster 데이터베이스는 통증 수준의 기초 진실인 Prkachin과 PSPI(Solomon Pain Intensity) 점수를 포함하고 있기 때문에 모델 훈련에 사용할 수 있다. PSPI(범위는 0 ~ 15)는 얼굴 표정의 통증 수준을 측정하는 점수이며, 얼굴 행동 코딩 시스템(FACS)을 사용하여 여러 행동 단위(AU)에 의해 계산될 수 있다. AU는 얼굴 근육의 작동에 대한 가시적인 지표이다. PSPI 점수는 AU4(아래쪽 눈썹), AU6(볼올리기), AU7(눈꺼풀 조임), AU9(코주름), AU10(윗입술올리기), AU43(눈을 감음)을 포함한 여러 AU의 합으로 계산할 수 있다. PSPI 값은 통증 표현 이미지에서 통증 강도를 계산하기 위해 생성된 모델을 평가하는 데 기본적인 요소이다.

[0051] UNBC-McMaster 데이터베이스는 데이터가 불균형하고 치우쳐 있기 때문에 통증 측정 모델을 훈련하기 전에 각 클래스의 데이터 항목 수를 균형 있게 조정해야 한다. PSPI 점수(0 ~ 15 범위)에 따라 UNBC-McMaster 데이터베이스의 통증 표현 이미지는 없음(PSPI=0), 추적(PSPI=1), 약한(PSPI=2 및 3), 강한(PSPI≥4)의 네 가지 통증 레이블로 나눌 수 있다. 탭에 표시된 바와 같이, C4-uncb, UNBC-McMaster의 총 데이터 항목 수는 48,398개이다. 통증은 주관적이고 명확한 분류 기준이 없기 때문에 많은 연구에서 PSPI 라벨을 임의로 분류한다. 따라서, 실시예에서는 UNBC-McMaster 데이터베이스의 불균형 데이터를 고려하여 PSPI 라벨을 결정할 수 있다. 실시예에서는 소수 등급(소수 등급: strong (PSPI≥4))을 기준으로 균형잡힌 데이터에 대해 각 통증군에 1,730개의 영상만을 포함하였으며, 데이터를 무작위로 추출하였다. 도 7은 UNBC-McMaster 어깨 통증 데이터베이스의 통증 표현 이미지의 예를 보여준다.

[0052] 표 2: UNBC-McMaster 어깨 통증 데이터베이스의 클래스 분류를 위한 PSPI에 기반한 통증 상태의 정의

Prkachin and Solomon Pain Intensity (PSPI)	Pain state	Number of images
0	None	40,149
1	Trace	3,037
2 and 3	Weak	3,482
from 4 to 15	Strong	1,730

[0053] ~ PSPI indicates Prkachin and Solomon Pain Intensity score

[0054] 여기서, PSPI는 Prkachin과 Solomon Pain Intensity 점수를 나타낸다.

[0055] 통증 측정 모델을 테스트하기 위해 96×96 해상도의 입력 이미지를 네트워크에 입력하여 삼 및 트리플렛 네트워크가 훈련될 수 있다. 총 2,856쌍의 샘플이 훈련 세트에 사용될 수 있고, 나머지 샘플은 UNBC-McMaster 데이터베이스에 있는 테스트 세트에 사용될 수 있다. 네트워크의 추정을 위해, 실측과 비교한 네트워크를 사용하여 순차적 통증 강도를 추정하기 위해 피어슨 상관 계수(PCC)와 평균 절대 오차(MAE)가 계산될 수 있다. PCC는 두 변수 또는 표본 간의 관계를 측정하는 통계 검정이다. -1과 1 사이의 값을 가지며, 1(양의 상관 관계) 또는 -1(음의 상관 관계)에 가까울수록 상관 관계가 높다. 표 3은 ConvNet-L3 모델을 사용하는 삼 네트워크가 가장 좋은 추정치를 가지고 있음을 보여준다(PCC=0.87 및 MAE=3.13).

[0056] 표 3: 사용자의 얼굴 표정에 대한 혼동 행렬

	Siamese network	PCC	MAE
Siamese network	ConvNet-Layer 3	0.87	3.13
	ConvNet-Layer 4	0.79	4.89
	ConvNet-Layer 5	0.55	6.11
Triplet network	ConvNet-Layer 3	0.86	3.39
	ConvNet-Layer 4	0.76	4.31
	ConvNet-Layer 5	0.49	7.59

[0057]

[0058] 도 8은 일 실시예에 있어서, 피험자로부터 삼 네트워크를 사용한 통증 강도의 결과를 나타낸 그래프이다.

[0059] RU-PITENS 데이터베이스 (a)S1 (b)S38 (c)S10 (d)S15의 피험자로부터 삼 네트워크(SNPI)를 사용한 통증 강도의 결과를 나타낸 것이다. 대부분의 피험자들의 결과는 도 8과 같이 전기 자극의 강도에 따라 안전 통증의 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 얼굴 영상(SNPI)과 설문지에서 추출한 통증 강도를 비교한 결과, S1, S10, S15, S38의 결과를 고려하여, 4명의 참가자의 SPS, 쾌감, 각성 척도는 각각 평균 약 4.0(5점 만점), 3.0(9점 만점, 점수가 높을수록 긍정적), 5.75(9점 만점)이었다. 따라서, 일반적으로 TENS 장치를 사용하여 자극 강도가 증가

함에 따라 얼굴 표정에서 획득된 통증 강도와 앙케이트 결과가 유사한 패턴을 보였다. 이에 따라, TENS 소자를 이용한 자극을 통해 통증 강도를 포함한 얼굴 이미지를 획득할 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.

[0060] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0061] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

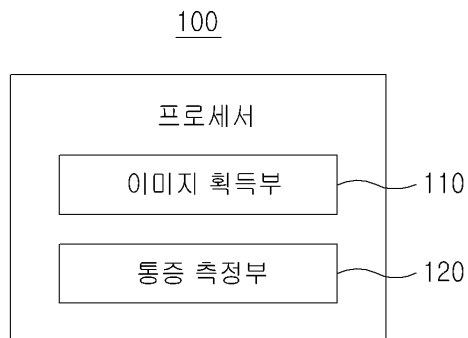
[0062] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0063] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

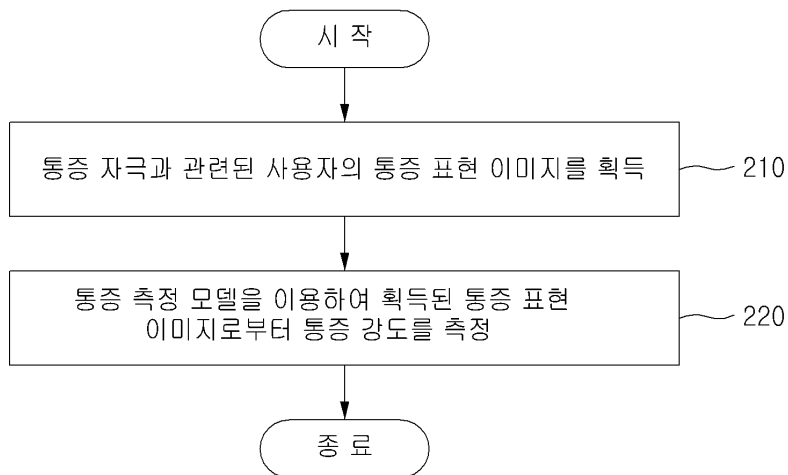
[0064] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

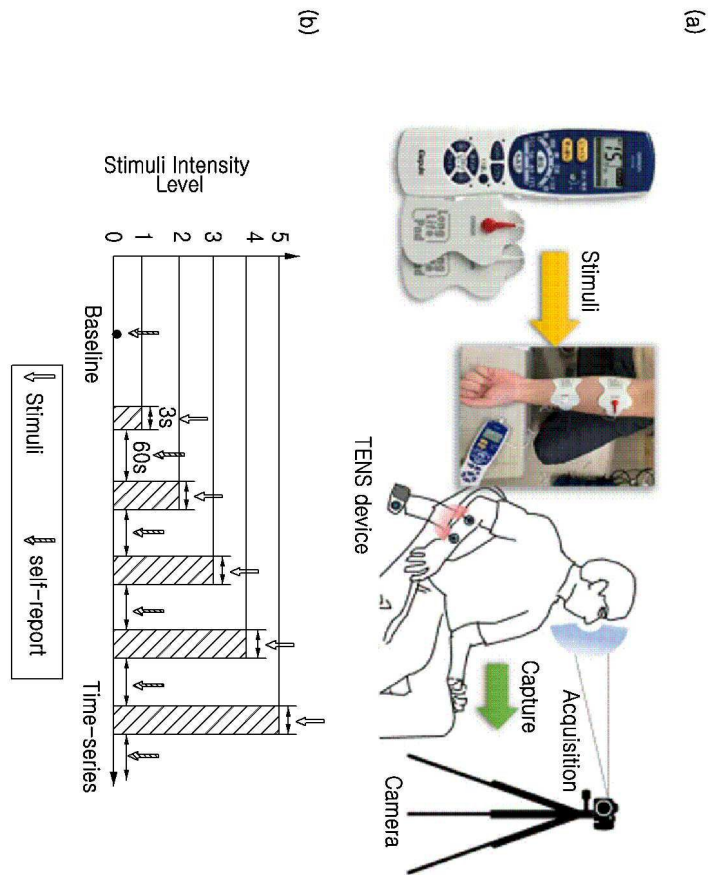
도면1



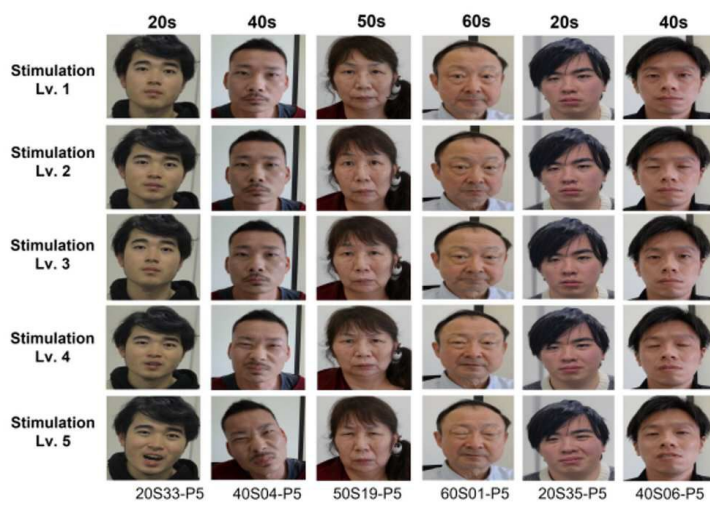
도면2



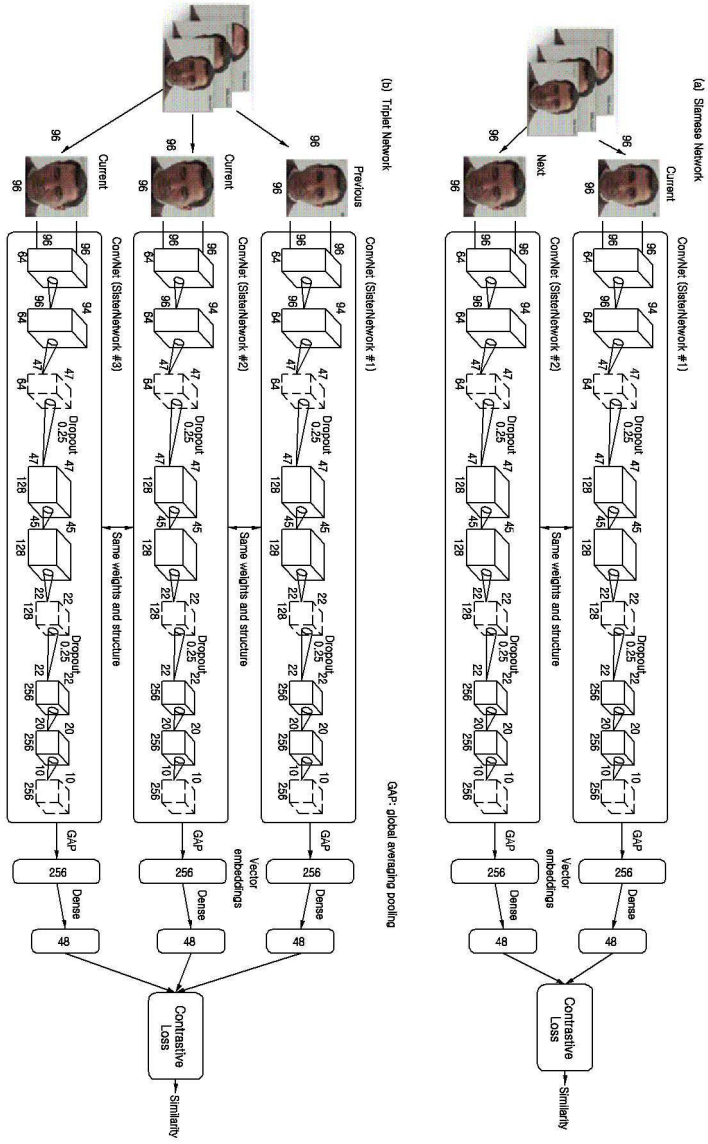
도면3



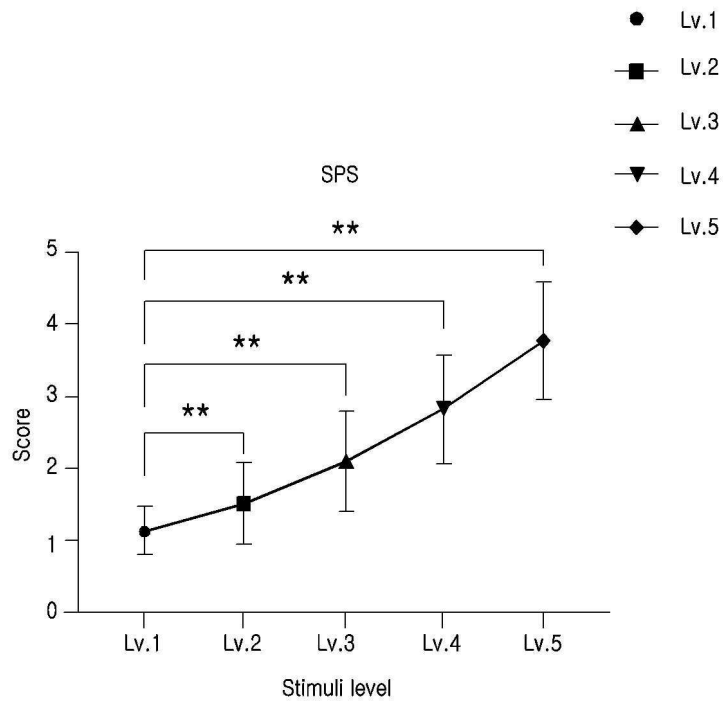
도면4



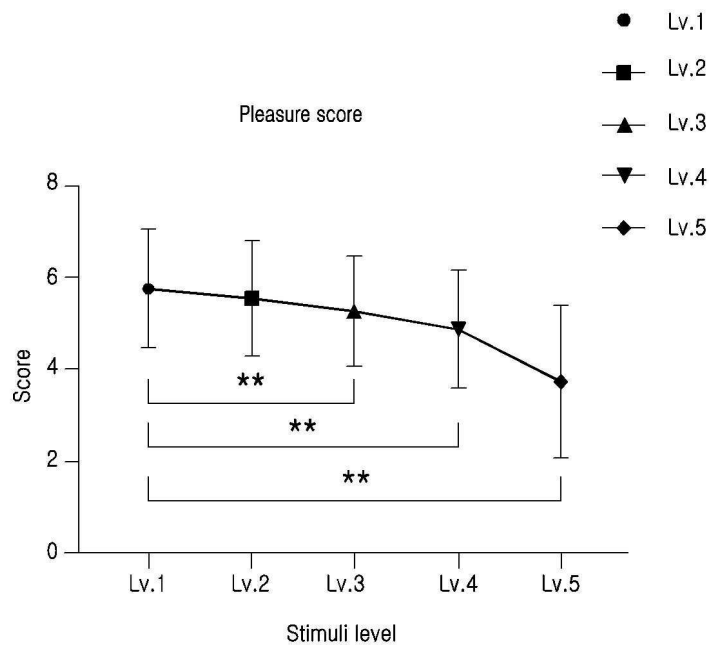
도면5



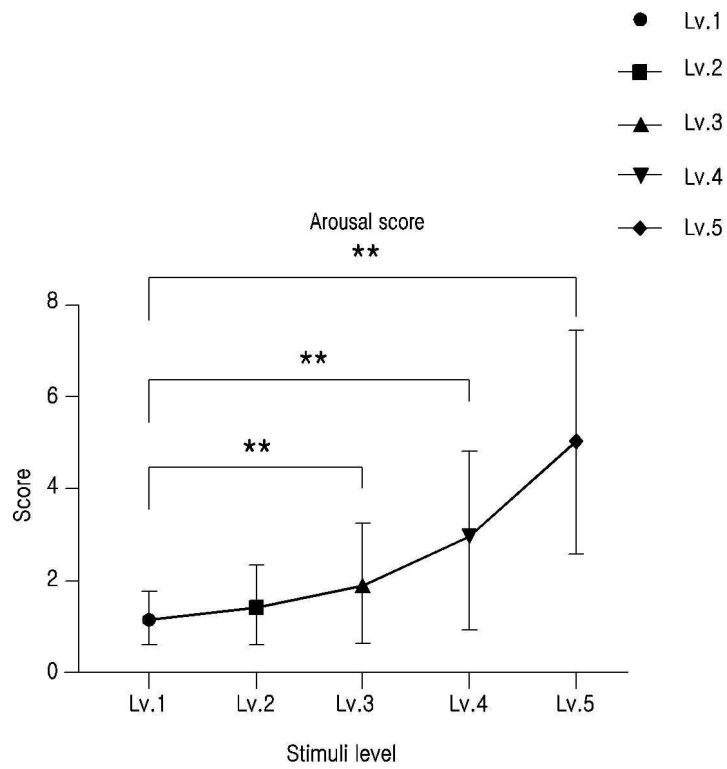
도면6a



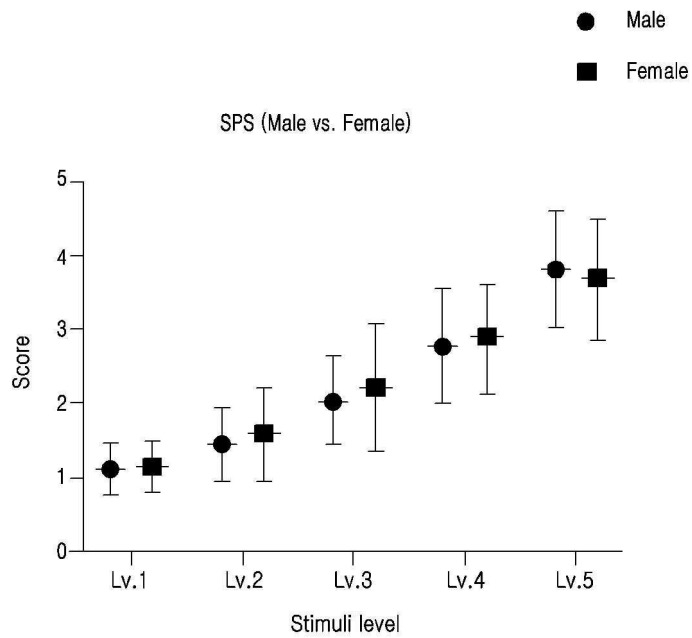
도면6b



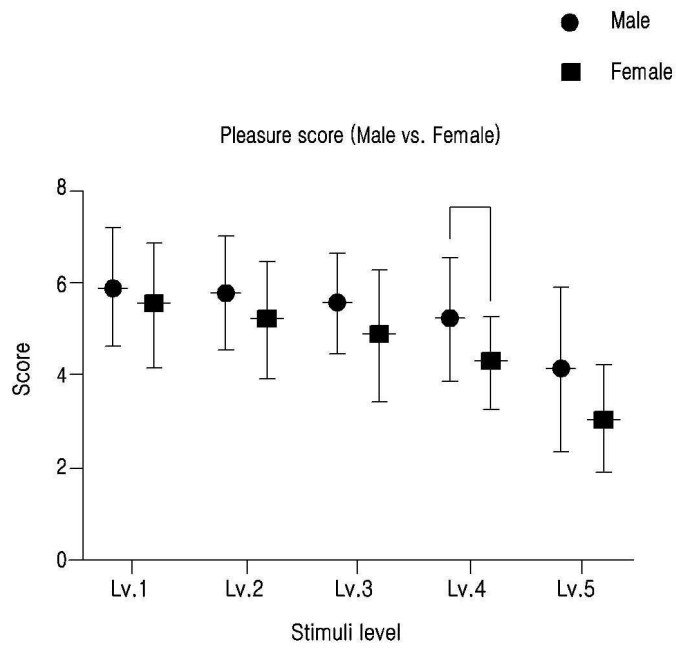
도면6c



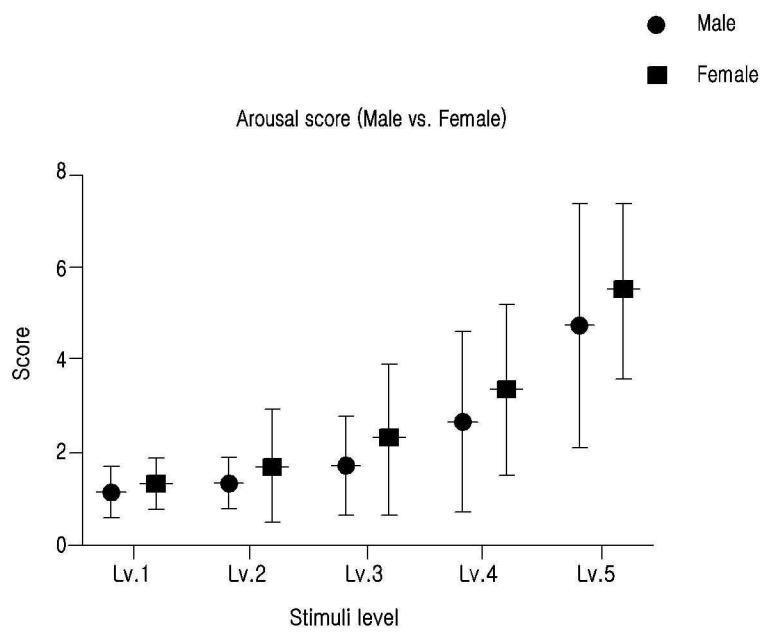
도면6d



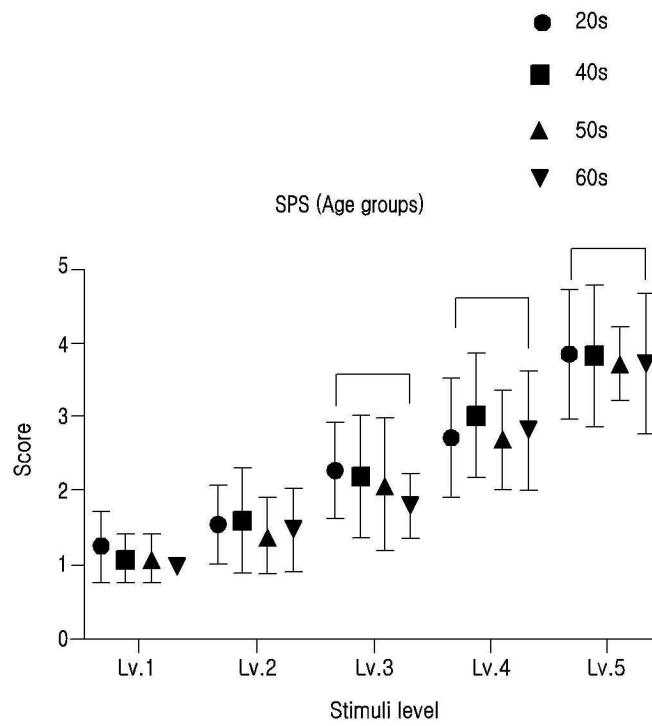
도면6e



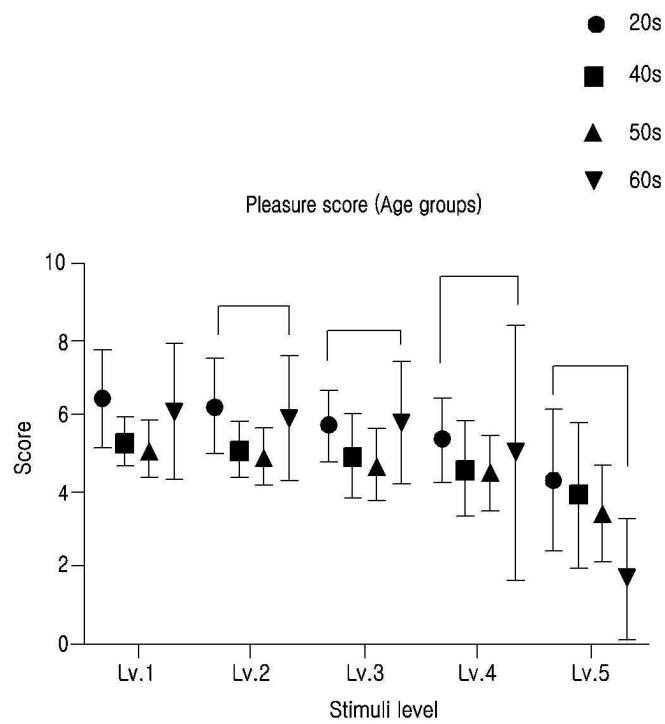
도면6f



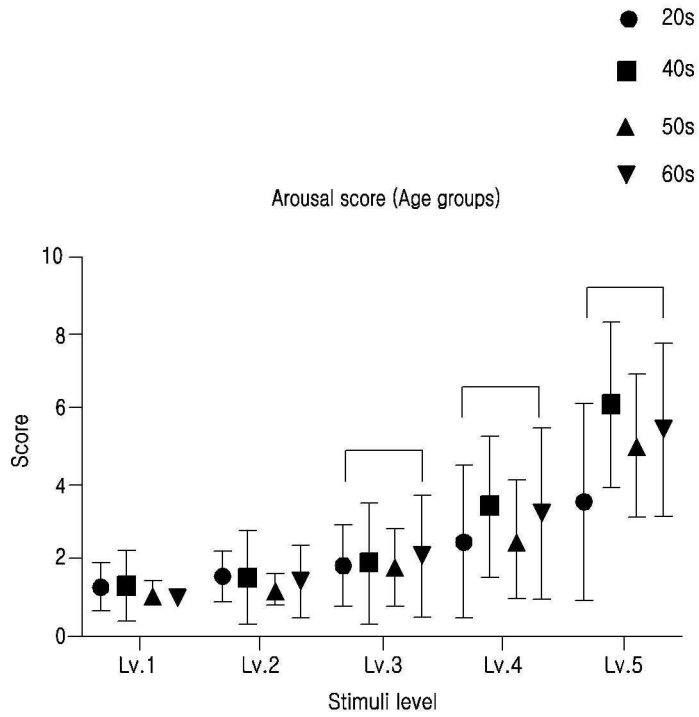
도면6g



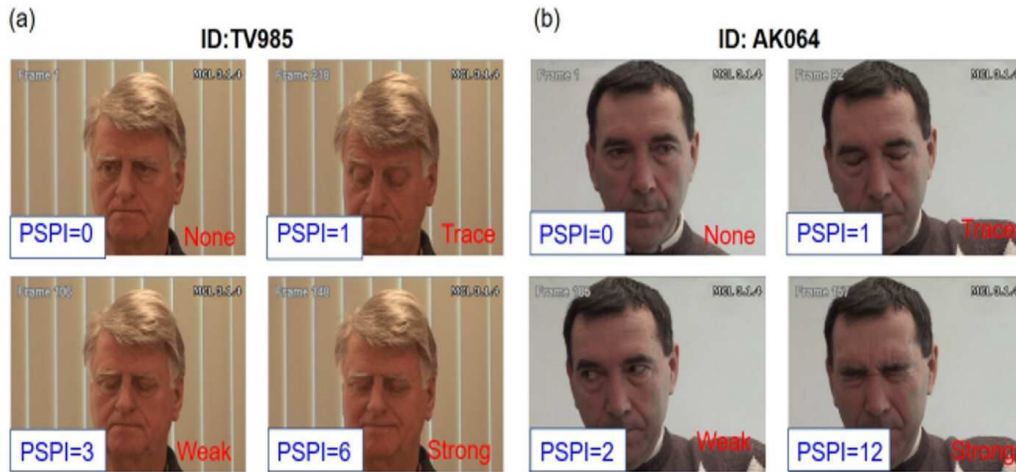
도면6h



도면6i



도면7



도면8

