

안뜰눈반사를 통한 노인 균형 연구

백수정*

*이룸통합발달센터

— 국문초록 —

이 논문은 노인의 균형문제를 해결하기 위해 안뜰눈반사와 안뜰재활운동에 대해 고찰하고자 한다. 낙상은 노화와 관련된 주요한 문제이다. 낙상과 결과적으로 일어나는 일은 가장 흔하면서 심각한 문제이다. 균형의 결함은 낙상의 가장 높은 위험 요소 중 하나이다. 균형을 조절하고 협응하는데 사용되고 통합되는데 세 가지 신경계가 필요하다. 정상적인 이동과 머리운동을 하는 동안, 안뜰눈반사는 주시를 안정화시키고 망막의 상을 유지하도록 돕는다. 안뜰눈반사의 결함과 낙상간에 직접적인 관계가 있다. 노인들은 안뜰눈반사를 억제하고 강화시키는 능력이 감소된다. 안뜰재활운동은 중추신경계 보상을 목적으로 시작한 운동에 근거한 단체 치료법이다. 안뜰재활운동은 머리와 눈의 반복적인 운동을 사용해서 안뜰눈반사의 이득을 회복시키고 오류를 줄인다. 많은 연구들이 안뜰재활운동을 한 단체가 균형과 보행 검사에서 월등함을 보였다. 이 논문은 노인의 낙상을 방지하기 위한 운동법으로 안뜰재활운동이 도움이 될 것으로 사료된다.

주제어 : 낙상, 안뜰눈반사, 안뜰재활운동

I. 서론

낙상은 노화와 관련된 흔한 문제이다. 65세 이상 노인의 30%가 연간 낙상을 경험하고 80세가 넘으면 그 수가 40%로 증가한다. 낙상을 경험한 노인의 약 30%는 중등도에서 심한 정도의 손상으로 인해 가동성 감소, 타인에 의존성 증가, 조기사망 증가를 초래한다(Sterling, O'Connor과 Bonadies, 2001). 낙상과 관련된 연구에 대한 노력들은 낙상으로 인한 사망률을 감소시키고 낙상 방지에 효율적이다.

노인의 낙상 방지를 위한 안내서에 따르면 11개의 낙상 위험요소를 언급하였다: 근력 약화, 낙상 병력, 보행

결함, 균형 결함, 보조기구 사용, 시야 결함, 관절염, 일상생활동작 손상, 우울증, 인지 손상, 80세 이상의 나이. 이들 요소간에 유의한 상호관계가 있다. 예를 들어, 보행 결함과 균형결함은 근력 약화와 관계있을 수 있고, 더 높은 위험 요소들의 전체적인 결과로 일상생활동작 손상 일어날 수 있다. 균형 결함은 낙상의 가장 높은 위험 요소들 중 하나이다(Stalenoef, Diederiks, Knottnerus, Kester과 Crebolder, 2002).

노화의 특징 중 하나가 자세조절 수행의 감소이다. 이 감소는 감각과 운동변화 때문에 일어나고 중추신경계에 일어나는 감각정보 통합의 변화 때문이다. 자세조절에

대한 감각입력은 기본적으로 세 가지 시스템(시각, 안뜰, 몸감각)에서 오기 때문에, 감각정보와 운동활동 간의 안정적인 관계에 근거한 다발분절로 된 신체를 조절하고 협응하는데 세 가지 신경계가 모두 필요하다(Barela, Jeka와 Clark, 2003). 이 세 가지 신경계중 하나의 결함은 자세 불안정성, 균형 문제, 낙상을 초래할 수 있다.

지난 20년 동안, 노인의 낙상의 원인을 이해하고 낙상방지를 위한 효과적인 전략을 만들기 위해 감각계 혹은 운동계와 균형 조절간의 관계를 알기위해 상당히 많은 연구들이 실시되었다. 최근에는 낙상의 위험과 안뜰눈반사 억제 결함, 보행, 균형 사이에 관계가 있다는 연구들이 있다(Srulijes, Mack, Klenk와 Schwickert, 2015; Di Fabio, Emasithi, Greany와 Paul, 2001).

60세 이상 노인의 65%가 일상생활에서 노화와 관련된 어지럼 혹은 균형의 소실을 경험한다(NIDOCD, 1989).

보행결함과 균형결함과 같은 낙상의 많은 위험요소들이 규명되어왔다. 하지만 안구운동과 이동(locomotion) 간의 관계에 대해서는 상세히 연구가 많이 되지 않았다. 서기와 걷기 동안 환경에 대해 시각적인 탐사는 일상생활 동안 일반적으로 요구되는 것이고 안구운동계의 결함은 역으로 이동계의 수행에 영향을 끼칠 것이다(Srulijes 등, 2015).

정상적인 보행과 머리 운동을 하는 동안, 안뜰눈반사(vestibulo-ocular reflex, VOR)는 주시를 안정화시키고, 망막에 상을 안정적으로 유지하도록 돕는다. 안뜰눈반사는 눈과 머리의 운동을 길항적으로 하게 한다. 즉, 머리 운동의 반대방향으로 눈 운동을 일으켜 개체가 움직이는 동안에도 물체의 상이 망막에 안정되게 머물러있게 한다(김지수, 1999). 이때 일어나는 머리운동과 눈운동은 방향은 반대이지만 속도는 똑같이 일어나면서 주시를 안정화시킨다. 안뜰눈반사는 머리가 움직이는 동안 안정된 시야를 유지하기 위한 정상적인 활동이고, 주시 안정화에 대한 일차 기전이다(Herdman, 2000).

안뜰계 손상은 노인들의 불안정성을 증가시키는데 포함된다. 왜냐하면 30대 초 부터 미로의 털세포 수용체들의 밀도가 점차 감소하기 시작하고, 55세에서 60세쯤 안뜰 수용체의 신경절세포 수가 급격히 감소하기 시작한다. 노화와 관련된 안뜰눈반사의 변화는 말초 안뜰신경계의 해부학적 변화와 관련 있다.

낙상을 방지하기 위한 많은 연구들이 제안한 중재는 다양한 운동 종류와 이해를 돕는 것 들이다. 하지만 체력

이 감소된 노인들은 심한 운동 부하를 받아들일 수 없기 때문에 선택적인 중재가 요구된다. 균형기능은 단지 근력 강화와 유산소운동만으로 개선되지 않는다.

지난 몇 십년 동안 안뜰장애 환자의 치료를 위해 안뜰 재활운동의 사용에 대한 관심이 증가해왔다(Hall과 Cox, 2009; Hoffer와 Balaban, 2011).

안뜰재활치료는 안뜰 병리에 대해 중추신경계 보상을 최대화하는데 목적을 두고 시작한 운동에 근거한 그룹(group) 접근법이다(Hoffer 등, 2011). 안뜰재활운동 기전은 습관화와 적응을 촉진하고 운동 대치전략과 감각 대치전략을 촉진하는 것이다(Hall 등, 2009).

전통적으로 안뜰재활치료는 물리치료사와 작업치료사에 의해 실시되어왔고, 청각학자와 다른 건강 전문가들이 안뜰재활치료를 하는 경우가 증가하고 있다. 미국작업치료협회에서 안뜰재활치료의 지식과 기술에 대해 언급하였다(Cohen, Burkardt와 Cronin, 2006).

이 논문은 노화와 관련된 균형의 결함에 대해서 안뜰계와 관련된 신경학적 요소와 치료를 위한 안뜰재활의 접근에 대해 고찰하고자 한다.

II. 본 론

1. 안뜰계의 해부학적 구조

뼈미로속에 현수되어 있는 막미로는 다섯 가지 감각기관이 있다. 두 개의 평형모래 기관인 타원주머니와 둥근주머니, 세 개의 반고리관으로 구성되었다. 안뜰계는 반고리관과 평형모래를 이용해 공간과 중력과 관련해 머리의 움직임을 감지해서 중추신경계로 정보를 전달한다. 두 감각수용체의 털세포는 기본적인 감각 요소로 림프액의 이동에 의해 생성되는 기계적 힘의 변화로 활동전위가 생성된다.

각 반고리관의 끝은 지름이 넓어져 팽대부(ampulae)를 형성한다. 팽대부 안에 팽대능선(crista)이 들어있고, 각(angular)운동을 감지하는 털세포가 모여 있다. 팽대능선 위에 놓인 젤라틴 막은 팽대능선마루(cupula)라 한다. 팽대능선마루는 머리운동과 관련해 팽대능선마루를 가로질러 바깥림프액의 압력차를 일으켜 털세포와 연결된다. 미로는 속림프액으로 채워져 있고 전해질 구성이 세포내액과 비슷하다. 바깥림프액은 세포외액과 비슷하다.

정상적인 상태에서, 속림프액과 바깥림프액 사이의 직접적인 소통은 없다.

주머니 모양으로 생긴 타원주머니와 원형주머니의 평형모래 기관은 평형반(macula)이라고 하는 섬모가 있는 감각상피로 구성된 특수한 영역이다. 타원주머니와 둥근주머니의 평형반에 있는 털세포는 둥근주머니의 안쪽벽, 타원주머니의 바닥에 위치한다. 각 털세포는 Scarpa 신경절에 위치한 들신경원에 의해 지배받는다(Hain, Ramaswamy와 Hillman, 2000).

각 평형반은 striola에 의해 안쪽과 가쪽으로 구분되고, 타원주머니 평형반은 귀에 수평으로 놓여있고, 운동모가 striola를 향해 배열되어 있어 수평면에서 움직임을 감지할 수 있다. 원형주머니 평형반은 수직으로 놓여있고, 운동모가 striola에서 반대로 향해있어 시상면(위, 아래, 앞쪽, 뒤쪽) 움직임을 감지할 수 있다. 평형반을 덮고 있는 평형모래막은 탄산칼슘 결정체인 평형모래층이 있다(Baloh와 Honrubia, 1990). 선가속이 일어나는 동안, 평형모래의 변위(displacement)는 털세포에 전단력(shearing force)을 생성한다. 전단력은 털세포에 수직으로 향하는 힘이다. 이 힘은 두 가지의 벡터를 가지는데 머리 변위 방향에 대한 반대의 벡터와 중력 벡터이다. 부동모가 운동모를 향해 구부리는 벡터를 따라 최대 활동이 일어난다. 타원주머니와 둥근주머니 모두 중력 방향과 중력 크기의 변화 뿐만아니라 운동으로 인한 선가속을 감지한다. 따라서 평형모래의 반응은 선가속 동안 일어나는 중력과 관성력의 벡터 총합과 비례한다(Hughes와 Pensak, 1997).

각 운동의 축(axis)마다 하나의 감각기관을 가지는 반고리관과 달리, 평형모래는 세 개의 축에 대한 선운동을 담당하는 감각기관이 두 개만 있다. 똑바로 있을 때, 원형주머니는 수직, 타원주머니는 수평으로 놓여져 수평반고리관의 면과 가까이에 있다. 이 자세에서 원형주머니는 수직면에서 선가속, 뒤통수꼬리축(occipitocaudal axis)을 따라 놓여있는 가속도, 앞뒤축(anterior-posterior axis)을 따라 있는 선가속을 감지한다. 타원주머니는 수평면에 있는 가속도, 양귀사이축(interaural axis)을 따라 있는 가쪽 가속도와 앞뒤 가속도를 감지한다(Figure 1).

머리가 가쪽으로 기울어지면(tilt) 전단력은 타원주머니에 영향을 미쳐 신경 흥분이 일어나는 반면, 원형주머니에는 영향을 덜 미친다. 결과적으로, 머리가 기울어지는 것은 평형반의 한 부분으로부터 들신경 흥분이 증가

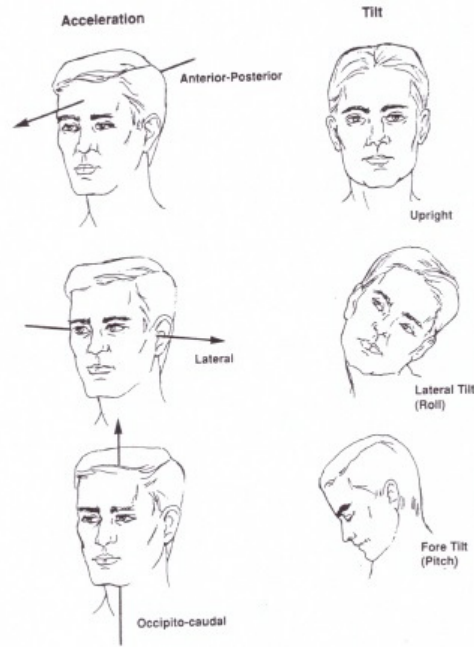


Figure 1. The otoliths register linear acceleration and static tilt. by Herdman. 2000.

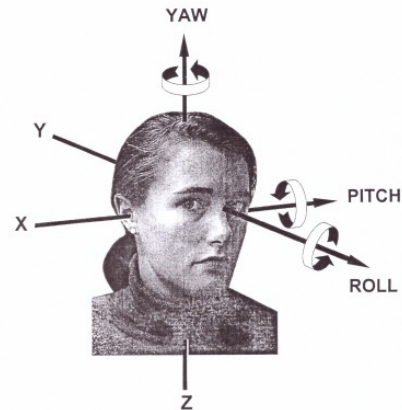


Figure 2. Horizontal rotation about the vertical z axis = yaw; vertical rotation about the binaural x axis = pitch; vertical rotation about the x axis = roll. by Herdman. 2000.

되는 반면, 똑같은 평형반의 다른 부분에서 오는 들신경 흥분은 감소된다(Hain 등, 2000).

반고리관은 앞, 뒤, 수평으로 놓여있다. 수평반고리관은 정위자세 동안 수평에서 30도 기울어져있고, 앞, 뒤반고리관은 머리뼈의 시상면과 이마면에 대해 45도 기울어져 있다(Baloh와 Honrubia, 1990). 이러한 배열은 수평(yaw), 수직(pitch), 회전(roll) 면에서 머리의 각회전을 분리해서 혹은 연합해서 활동하게 한다(Figure 2).

반고리관은 오른쪽 왼쪽이 서로서로 거울에 비친 상 (mirror images)을 하고 있기 때문에, 머리 한쪽에서 짝을 이루어 밀고당기(pull-push pairing)는 식으로 작용한다. 즉, 왼쪽 앞반고리관과 오른쪽 뒤반고리관, 왼쪽 뒤반고리관과 오른쪽 앞반고리관이, 왼쪽 오른쪽 수평반고리관이 짝을 이룬다. 한쪽이 자극되면 쌍을 이루는 반대쪽 반고리관은 억제가 이루어지는 기능적인 짝(functional pair)이다(최광동, 오선영, 김지수, 2006). 이러한 배열의 장점은 세 가지가 있다. 첫째, 짝을 이루어서 여분의 감각신경(sensory redundancy)을 제공한다. 만약 한쪽의 반고리관이 손상을 받으면, 중추신경계는 반대쪽에 있는 짝을 이루는 반고리관에서 감각입력을 받는다. 둘째, 짝을 이루으로써 체온이 올라가거나 화학물질이 들어왔을 때와 같이 양쪽 반고리관이 동시에 신경 발화가 일어날 때, 뇌는 그것을 무시할 수 있다. 셋째, 과부하가 걸릴 때 보상작용 기전으로 작용한다(Hain 등 2000).

각 반고리관은 팽대 바닥이 부풀어진 곳에, 팽대능선마루라는 젤라틴막에 털세포가 묻혀있다. 털세포는 하나의 커다란 운동모와 여러 개의 부동모로 구성되었다. 이것들은 모두 하나의 단위로 함께 움직인다. 휴식시, 털세포의 막전위는 약 -60mV이다. 힘이 털세포 꼭대기와 평행하게 적용될 때, 부동모가 운동모쪽으로 구부러져 -40mV로 탈분극 된다. 반대로, 부동모가 운동모에서 멀리 구부러지면 -64mV로 과분극 된다(Baloh와 Honrubia, 1990). 한쪽 반고리관의 털세포의 탈분극은 반대쪽 관의 털세포에 과분극을 일으킨다(Hughes와 Pensak, 1997).

즉, 수평관에서 운동모는 팽대의 타원주머니를 향해 있고, 수직관에서는 운동모가 반고리관쪽으로 향해 있다. 털세포 방향의 차이는 수평관과 수직관 사이의 방향에 대한 민감도에 차이를 나게 한다. 속립프랙이 팽대쪽으로 흐르면 털세포는 수평관에서는 탈분극, 수직관에서는 과분극을 일으키고, 반면 림프액의 흐름이 팽대에서 멀어지면 수직관에서는 탈분극을 수평관에서는 과분극을 일으킨다. 머리회전 방향과 같은쪽에 압력을 증가시키고 반대쪽 압력을 감소시킴으로써, 머리의 회전은 반고리관 내에서 다른 압력을 만든다. 즉, 머리와 반대방향으로 속립프랙이 흐르면 팽대능선마루의 모양이 변화되어 결과적으로 털세포를 구부러 탈분극이 일어난다(Hughes와 Pensak, 1997).

각 가속도(반고리관)와 선 가속도(평형모래)는 눈-머리 협응, 주시 안정성, 자발운동(self-motion)에 필수적이다. 중력의 위치(타원주머니)는 절대적인 수직 기준점과

공간에서 신체 방향성을 제공한다.

반고리관은 속립프랙의 움직임으로 가속도를 발견하는 각가속도의 변환기이고 세 면에서 머리 회전이 일어난다. 반고리관은 서로서로 직각으로 놓여있어, 세 개의 축을 만들어, 각 회전축에 대해 머리의 각가속도를 발견한다(Fig 2). 타원주머니와 둥근주머니는 선가속도의 변환기로 중력과 관계된 머리의 방향과 머리의 직선 운동을 발견한다(Hain 등, 2000).

털세포의 기계적인 자극은 신경전달물질을 유리시키고 다리뇌와 숨뇌에 있는 안뜰핵복합체에 정보를 전달하고, 이는 시각계, 소뇌, 몸감각에서 오는 정보와 통합된다. 이 정보는 눈운동 핵, 운동겉질, 소뇌의 안뜰영역, 시상과 같은 고위 중추로 투사된다. 이와 같은 특화된 운동 수용체는 중력에 관한 절대적인 기준 틀을 제공하고 머리와 신체의 수직에 대한 방향에 중요한 정보를 제공한다(Reimer, 2013).

2. 안뜰핵복합체(vestibular nuclear complex)

안뜰핵복합체는 다리뇌에 위치하고 네 개의 핵과 일곱 개의 작은 핵으로 구성되었다. 안뜰핵은 말초 안뜰계, 시각, 고유수용감각, 접촉, 청각계에서 오는 정보를 전달한다. 안뜰핵은 또한 소뇌와, 바깥근육과, 뇌줄기에 있는 그물체와 광범위하게 연결되어있다(Hain 등, 2000). 소뇌는 광범위한 상호연결을 통해 안뜰척수로의 출력을 조절하는데 중요한 역할을 한다.

일차 들신경(반고리관과 평형모래)에서 오는 안뜰신경 입력은 두 가지 주요 목표지점이 있다. 안뜰핵복합체와 소뇌이다. 안뜰핵복합체는 안뜰신경 입력이 들어가는 첫 번째 처리장치이고 들어오는 들신경 정보와 나가는 운동신경 사이의 직접적이고 빠른 연결을 한다. 소뇌는 적응적 처리장치로 안뜰신경의 수행을 모니터하고 필요하면 중추 안뜰처리 과정을 재조정한다. 안뜰핵복합체와 소뇌의 위치에서 안뜰감각 입력은 몸감각 입력과 시각 입력과 연합해서 진행된다(Hain 등, 2000).

네 개의 핵으로 이루어진 안뜰핵복합체는 위핵은 주로 반고리관에서 입력을 받고 일부는 평형모래에서 받는다. 위핵의 섬유는 눈 운동신경에 투사하여 안뜰눈사(vestibulo-ocular reflex)에 포함되고 눈과 머리의 운동 협응을 지배한다. 안쪽핵은 반고리관에서 입력의 대부분을 받고 일부는 평형모래에서 받는다. 이것 또한 눈

운동신경에 투사하여 안뜰눈반사에 포함된다. 가쪽핵은 (Deiter 핵) 주로 평형모래에서 일부는 반고리관에서 정보를 받는다. 주요 날신경 섬유는 가쪽안뜰척수로 형성해 상지와 하지 근육을 조절한다. 아래핵은 평형모래와 반고리관에서 입력을 받고 출력은 안쪽안뜰척수로 형성해서 목과 축성 근육을 조절한다(Reimer, 2013).

안뜰핵은 맞교차 연결로 이루어져 서로 억제된다. 안뜰핵의 반대쪽 억제는 안뜰반응을 증폭시켜준다. 맞교차를 통해 뇌줄기 양쪽에 정보를 공유할 수 있다. 대부분의 맞교차 연결은 위핵과 안쪽핵 사이에 이루어지고, 약간의 연결은 가쪽핵에서 이루어진다. 아직 안뜰계의 맞교차 경로의 기능은 완전히 알려지지 않았지만, 생리적으로 억제적이다.

안뜰핵, 반고리관, 타원주머니, 둥근주머니의 세포는 안쪽세로다발(median longitudinal fusciculus)을 통해 세쌍의 눈 운동근육(위,아래곧은근; 안쪽, 가쪽곧은근; 위, 아래빗근)을 지배하는 신경과 연결을 이룬다. 앞반고리관의 흥분성 신경원은 같은쪽 위곧은근과 반대쪽 아래빗근으로 투사한다. 앞반고리관의 억제성 신경원은 반대쪽 위빗근과 같은쪽 아래곧은근으로 투사한다. 뒤반고리관 안뜰신경원은 반대쪽 근육으로 투사한다. 수평반고리관 신경원은 안쪽, 가쪽곧은근으로 투사한다(Reimer, 2013). 즉, 머리를 오른쪽으로 돌리면, 속립프액이 왼쪽의 팽대능선마루를 구부린다. 오른쪽 팽대능선에 있는 털세포의 흥분은 머리운동 속도와 비례해 증가하고, 왼쪽 팽대능선에 있는 털세포의 흥분은 감소한다. 이러한 신경발화의 변화는 안뜰신경을 따라 전달되고 안쪽, 위쪽 안뜰신경핵의 흥분에 영향을 준다. 뇌줄기의 백질 신경로를 통해 전달된 흥분충동은 눈 운동핵으로 가서 오른쪽(동측) 안쪽곧은근과 왼쪽(반대측) 가쪽곧은근을 활성화시킨다. 억제성 충동은 이 근육들의 대항근으로 전달된다. 오른쪽 안쪽곧은근과 왼쪽 가쪽곧은근의 수축과 왼쪽 안쪽곧은근과 오른쪽 가쪽곧은근의 이완이 동시에 일어나 눈의 보상적 운동은 왼쪽으로 일어나게 된다(Herdman, 2000).

3. 안뜰눈반사(vestibulo-ocular reflex, VOR), 안뜰눈반사 이득(gain), 주시의 안정성(gaze stabilization)

1) 안뜰눈반사

안뜰눈반사의 3개의 신경원으로 된 반사궁이다. 일차

신경원은 Scarpa 신경절, 이차 신경원은 안뜰핵복합체, 삼차신경원은 바깥눈운동핵에 있다. 안뜰눈반사는 공간에서 머리와 신체의 회전과 이동(ambulation) 동안 망막의 공간적 방향성을 유지하고 주시를 안정화시킨다. 안뜰눈반사의 수행은 세반고리관과 평형모래 기관의 협력 작용 뿐만 아니라 눈운동계를 이끌어가는 중추신경 통합 과정 기능의 협응에 의해 결정된다.

안뜰눈반사는 머리운동에 반응하는 기본적인 반사로 머리의 방향과 반대이지만 진폭이 똑같은 보상적인 눈운동(compensatory eye movement)이 일어나게 한다. 기능적인 관점에서, 안뜰눈반사는 반고리관에 의해 유도되는 각(angular)-안뜰눈반사(aVOR)와 평형모래에 의해 유도되는 선(linear)-안뜰눈반사(IVOR) 두 가지로 나뉜다(Paige, 1996).

각-안뜰눈반사는 머리의 각속도에 대해 반응한다. 이 반사는 머리회전의 진폭이 작고 지속 시간이 짧을 때 주시의 방향이 공간에 거의 고정된다. 지속 시간이 더 길거나 계속적인 각 운동은 안구진탕을 유발한다. 머리 위치에서 이러한 더 큰 변화를 위해, 각-안뜰눈반사는 주시 방향의 안정성을 유지하기 위해 끊임없이 보상작용을 한다(Telford, Seidman, Paige와 Barnes, 1998). 각-안뜰눈반사는 회전면에 따라 수평(yaw), 수직(pitch), 회전(roll) 안뜰눈반사로 나뉜다. 수평 안뜰눈반사에서, 수평반고리관이 수직축 혹은 수평면 주변으로 회전할 때 활성화된다. 머리가 수평반고리관의 면에서 오른쪽으로 돌릴 때, 오른쪽 수평 팽대 신경의 발화는 증가하고, 반면 왼쪽 신경의 발화는 감소한다. 수직 안뜰눈반사에서, 수직반고리관인 앞, 뒤반고리관이 수직(pitch)면 혹은 양귀사이축(interaural axis) 주변으로 회전할 때 활성화된다. 양쪽 앞반고리관의 자극은 위쪽으로는 안구운동을 일으키고, 양쪽 뒤반고리관 자극은 아래쪽으로 안구운동을 일으킨다. 회전 안뜰눈반사에서, 머리운동의 회전(roll)은 한쪽의 앞, 뒤반고리관을 모두 활성화시켜 반대쪽으로 회전 눈운동이 느리게 일어난다(Sharpe와 Barber, 1993).

선-안뜰눈반사는 타원주머니, 둥근주머니의 평형모래 활동에 의해 머리의 선가속도에 반응한다. 특히 중력관성력 벡터(gravio-inertial force)의 방향에 대한 감지기로써 잠재의식적인 자세반사와 공간감에 영향을 미친다(권기환 등, 2008). 바닥에서 영향을 받는 선가속도는 동등한 중력 가속이 합해져 중력관성력 가속도(gravito-inertial acceleration, GIA)를 형성한다(Figure 3).

선-안뜰눈반사는 변형(translational)과 기울임(tilt) 두 가지가 있다(Paige, 1996). 첫째, 변형(translational) 선-안뜰눈반사는 공간에서 점 혹은 특정 위치에 고정을 유지하기 위해 눈을 회전시킨다. 예를 들어, 고정된 점을 보다가 머리가 오른쪽으로 변형(translation)운동이 일어나면 고정된 점을 계속 보기 위해 눈을 왼쪽으로 회전한다(Figure 4. B). 고정 지점의 안정성은 전체적인 시야가 아니라 중심와의 상에만 안정화된 것을 의미한다. 이러한 선-안뜰눈반사는 순공과 보는 거리에 의존하는 것으로, 보는 거리가 변할 때 선-안뜰눈반사의 이득이 극적으로 변한다(Paige 등, 1998). 안뜰눈반사의 이득이 변하는 것은 목표지점에 중심위를 유지하는 기능 때문이다. 둘째, 기울임(tilt) 선-안뜰눈반사는 머리에 비례해서 GIA의 기울임(tilts)이 눈의 기울임을 일으킴으로써 눈은 GIA와 수직으로 배열한다. 결과적으로 눈의 수직축은 정위자세동안 그리고 머리가 기울임을 유지하는 동안 GIA를 따라 배열한다(Telford 등, 1997)(Figure 4. C, D).

변형 선-안뜰눈반사에서 선가속도에 대한 반응으로 나타나는 보상적인 눈운동은 양귀사이 축(interaural axis)을 따라 선가속이 일어나는 동안, 머리운동과 반대 방향으로 눈이 수평으로 움직인다. 수직 선가속이 일어나는 동안, 수직축을 따라 눈은 머리운동에 반회전(counter-rotate)으로 수직으로 움직인다. 코-뒤통수 축을 따라 가속이 일어날 때 수평과 수직 눈운동 모두를 일으켜 눈이 대각선으로 움직인다. 중력과 관련해서 머리의 방향이 바뀔 때 나타나는 보상적 눈운동은 머리가 오른쪽으로 기울일 때(tilt), 눈은 왼쪽으로 반-회전(counter-roll)이 일어난다.

양쪽눈(binocular)의 고정을 유지하기 위해 눈은 폭주(converge)가 일어나야 한다. 시야의 두 선 사이의 각도를 폭주각이라 하는데 목표물 거리와 역으로 일어난다. 목표물이 가까울수록 폭주각은 커진다(Telford 등, 1997). 폭주각은 안뜰눈반사 이득을 조절하는 내적 신호이다. 멀리 있는 목표물을 볼 때 머리 회전을 보상하기 위해 각-안뜰눈반사에 의해 눈 운동이 일어난다. 가까운 목표물을 볼 때, 눈운동을 조절하는데 선-안뜰눈반사가 작용한다(Paige, 1996). 대부분 자연스러운 머리 운동은 각회전과 변형(translation)을 모두 가지기 때문에, 동시에 반고리관과 평형모래를 자극한다(Emasithi, 2002).

안뜰눈반사는 중추 안뜰계가 머리와 눈 운동에 대한 정보를 처리하기 위해 사용하는 기본을 보여준다. 반고리관은 중추 안뜰계, 안뜰소뇌계, 결절하지각계에 넓게 나타나

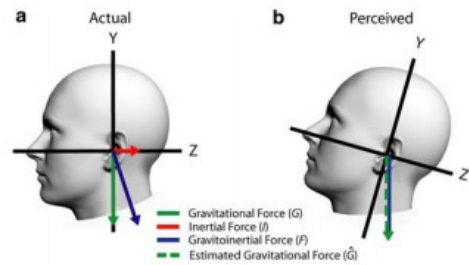


Figure 3. a. The actual situation. The head is upright and accelerating in the forward direction, so the gravitoinertial force (blue), which is the sum of gravitational (green) and inertial (red) forces, is pitched relative to the body. b. The perceived situation. The person interprets the rotated gravitoinertial force vector as a pitch of the head, which leads to the perception of a “nose-up” attitude. by MacNeilage et al. 2006.

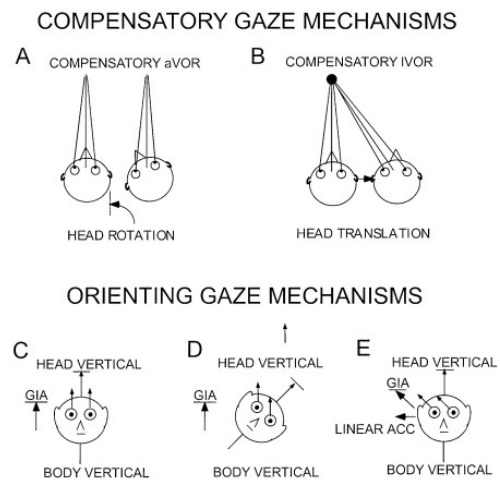


Figure 4. A. The compensatory angular vestibulo-ocular reflex(aVOR) tends to maintain gaze in a given direction incrementally in response to head rotation. B. The compensatory linear VOR(IVOR) tends to maintain gaze at a fixed point in space in response to incremental head translations. C. With the head upright, the head-vertical and eye-yaw axes, denoted by the arrows on top of the eyes, are aligned with the gravitoinertial acceleration(GIA), which is along the equivalent acceleration of gravity. D. When the head is tilted, the eyes roll so that their yaw axes become aligned with the GIA. E. Similar roll of the eyes occurs during linear acceleration, which tilts the GIA relative to the head vertical. The eyes roll to align with the GIA. by Raphan & Cohen. 2002.

는 기초로 시각-안뜰 상호작용과 안뜰 기능을 지지한다. 안뜰눈반사는 머리의 각가속도와 선가속도 동안 망막의 미끄러짐(retinal slip)을 감소시켜 주시를 안정화시킨다. 각-안뜰눈반사와 선-안뜰눈반사의 결합은 머리가 움직이는 동안 망막에 상이 안정되지 않아 시력, 지남력, 일상 생활과 관련된 머리 움직임 동안 자세조절을 손상시킨다(Herdman, Tusa, Blatt, Suzuki와 Venuto, 1998).

2) 주시 안정성과 안뜰눈반사 이득(gain)

주시조절(주시 안정성)은 망막의 중심좌에 목표물을 유지하기 위해 눈과 머리의 움직임이 협응하는 것이고, 머리/신체가 움직이는 동안 중심좌에 물체의 상이 움직이는 것을 방지하는 것이다. 이동과 같은 많은 일상 활동은 망막위에 상의 미끄러짐을 일으켜 시력의 감소를 초래한다. 주시의 각(angle of gaze)은 사물의 명확한 시야를 유지하기 위해 안정되어야 하고 망막으로 상을 가져오기 위해 이동(shift)되어야 한다. 주시이동은 눈의 움직임만으로 혹은 눈과 머리의 결합 운동에 의해 수행된다. 일반적으로 머리의 움직임은 보상적인 눈의 움직임을 유발한다(Emasithi, 2002).

망막중심오목(foveation)은 두 가지의 조합으로 이루어진다. 하나는 자발적인 운동과정으로 급속눈운동(saccadic)과 매끈안구추적운동(smooth pursuit systems)이고, 다른 하나는 반사기전으로 안뜰눈반사와 시운동반사(optokinetic reflex, OKR)이다.

급속눈운동은 매우 빠르고 자발적인 눈운동(900°/초 이상까지)으로 목표물을 눈에 재위치 시켜 상이 중심좌에 안정되게 해서 초점을 맞추게 한다. 망막의 미끄러짐, 소리, 접촉 자극, 구두 명령이 급속눈운동을 개시할 수 있다. 매끈안구추적운동 또한 자발적인 운동으로 머리 운동과 독립적이다. 매끈안구추적운동은 움직이는 물체의 상을 중심좌에 유지시키는 것을 돕고 시력에 중요하다. 그리고 시각적 상이 상대적으로 느리게 움직일 때 주시 안정화를 시킨다. 매끈안구추적운동의 최대 속도는 100°/초(10°-100°초)이다(Reimer, 2013). 시운동반사는 안뜰눈반사에 대한 보상적 반사로 머리회전의 속도가 매우 느리게 유지되는 동안 주시를 안정화시킨다.

안뜰눈반사는 망막에 상을 안정적으로 맺도록 하기 위해 머리와 눈의 반대작용(antagonistic)을 일으킨다. 대조적으로, 움직이는 사물에 주시를 유지시키거나 혹은 새로운 관심

대상으로 주시를 이동하기 위해서는 눈과 머리의 운동이 같은 방향으로 움직여야 한다. 이러한 같은 작용(agonistic)의 운동을 위해서는 안뜰눈반사의 억제(suppression)가 불가피하다. 안뜰눈반사의 억제(suppression)는 주시 이동을 하는 동안은 매우 빠르게, 지나가는 자동차를 볼 때는 천천히 수행된다.

안뜰눈반사 이득(gain)은 머리 속도에 대한 눈 속도의 비율로 안뜰눈반사의 효율을 결정하기 위해 사용한다. 이상적인 안뜰눈반사의 이득은 1이 되어야 한다(Sharpe와 Barber, 1993; Paige, 1996). 예를 들어, 머리운동이 10도 일어나면, 눈운동도 10도 일어나는 것이다. 만약 안뜰눈반사 이득이 1을 초과하거나 1보다 적으면 망막의 상은 중심좌에 유지될 수 없고, 이를 망막의 미끄러짐(retinal slip)이라 하고 시야는 흐려진다. 망막의 미끄러짐은 목표물이 중심좌 밖으로 움직일 때 일어난다. 안뜰눈계 장애가 있는 사람들은 망막의 미끄러짐을 오류 신호로 사용하여 뇌가 안뜰눈반사의 이득을 증가시키므로써 안뜰눈 손실을 최소화하려는 시도로, 각-안뜰눈반사 결합의 적응을 돕는 치료에 사용된다. 안뜰눈반사의 이득은 훈련에 의해 증가되거나 감소될 수 있다. 개체의 회전 방향과 표적의 움직임을 반대로 하여 일정 기간 훈련시키면 안뜰눈반사의 이득은 증가한다. 반대로 회전 방향과 표적 방향을 같은 속도, 같은 방향으로 움직이면서 훈련시키면 이득이 감소한다(김지수, 1999).

일측성 안뜰신경 소실은 불균형, 머리가 움직이는 동안 시야 흐림을 초래한다. 머리운동에 대한 안뜰눈반사의 방해 때문에 증상이 나타나는 것이다. 따라서 머리운동이 일어나는 동안 안뜰눈반사 이득이 극적으로 감소한다. 급성기 동안 안뜰눈반사 이득은 병변 측으로 머리가 움직이는 동안 75%정도 감소되고 병변 측에서 머리 운동이 멀어지면 50%정도 감소한다(Allum 등, 1988).

안뜰눈반사 이득에 영향을 주는 요소는 회전빈도, 머리운동이 수동인지 능동인지, 시각, 목표물 거리들이다. 각안뜰눈반사는 머리의 회전빈도가 10Hz이상, 선-안뜰눈반사는 0.5Hz이상이면 이득이 변하지 않고 감소한다(Paige, Telford, Seidman과 Barnes, 1998). 안뜰눈반사의 이득은 머리운동이 어떻게 일어나는지에 따라 다르다. 수평과 수직 각-안뜰눈반사 이득은 머리의 운동이 능동일 때 더 높다. 어둠속에서 안뜰눈반사계는 오류를 수정하기 위한 시각 피드백을 받지 않아 이득이 고정된다. 시각적으로 눈운동을 조절함으로써 목표물(earth-fixed target)이 고정되어 있을

때 안뜰눈반사 이득은 증가한다. 따라서 시각정보가 안뜰눈 반사 수행을 최적화 한다. 안뜰눈반사 이득은 머리가 고정된 채 목표물(head-fixed target)을 추적(tracking)할 때 억제된다. 이 경우는 매끈안구추적운동 기전이 작동하여 안뜰눈 반사를 억제한다.

안뜰눈반사의 목적은 일상생활을 하는 동안 망막의 미끄러짐을 감소시키기 위해 주시를 안정화 시키는 것이다. 안뜰눈반사는 잠복시가 짧아, 각-안뜰눈반사의 경우 15msec 이하이고, 선-안뜰눈반사의 경우 30msec 이고, 1-7Hz 범위 내에서 잘 작용한다(Paige, 1996). 이러한 특징은 일상생활을 하는 동안 안뜰눈반사가 주시를 안정화시키는 첫 번째 기전이 되게 한다.

사람의 눈운동 범위는 약 $\pm 50^\circ$ 에서 60° 이다. 눈과 머리의 결합운동은 관심 있는 목표물이 이 한계를 넘어 주시 이동을 크게 하기 위해 필요하다. 목표물이 범위 내에 있으면 머리 움직임의 정도는 각자가 가진 기준(reference system)의 선택에 달렸다(Goldring, Dorris, Cornell과 Ballantyne, 1996).

3. 정상적인 균형기전

균형의 기전. 균형을 이루기 위해, 신체의 중력중심(center of gravity, COG)은 기저면 중심 위로 수직을 유지해야 한다. 이것은 감각기관에서 받는 정보 통합을 통해 이루어진다. 중력중심의 위치에 대해 감각 정보가 부정확할 때, 자동적인 정위자세가 부적절 할 때 균형소실이 일어난다.

자세조절계는 고유수용감각, 시각계, 안뜰계의 수용체 뿐만아니라 피부 아래에 있는 압력 감수기로부터 정보를 받는다.

① 몸감각 입력: 몸감각 입력은 몸의 위치와 서로 관계 있는 몸의 부분, 지지면에 관계있는 몸 부분에 대한 정보를 제공한다. 몸감각 입력은 신체가 고정된 단단한 표면 위에 가만히 서있을 때 균형에 대해 우세한 감각정보이다(Dietz, Horstmann과 Berger, 1989). 사람은 균형을 잘 유지하기 위해 다리와 몸통에 있는 압력 감수체에서 오는 신호에 일차적으로 의존하는 것 같다.

② 시각입력: 시각은 신체적 환경과 그 환경과 관계된 신체의 관계에 대한 정보를 전달한다. 시각 입력은 몸감각 정보가 결합이 있을 때 일차적으로 작동하는 감각이다(Dorman, Fernie과 Holliday, 1978). 시각은 지지면이

불확실하거나 딱딱하지 않을 때 자세 안정화에 중요한 역할을 한다.

③ 안뜰계는 감각과 운동기능을 다 가지고 있다.

감각기능. 안뜰계는 머리의 각속도와 선가속도를 측정하고 중력축에 대한 머리 위치를 감지한다. 머리 각속도는 반고리관의 능선에 의해서 측정되고, 선가속도와 중력힘의 변화를 타원주머니와 둥근주머니의 평형반에서 감지한다. 안뜰계가 머리 운동을 감지하기 때문에 시각계와 몸감각계 보다 자세동요에 덜 민감하다(Keshner와 Peterson, 1989). 시각계와 몸감각계 정보가 부적절 할 때, 안뜰계는 중력중심 위치를 조절하는 데 중요한 역할을 한다. 보행하는 동안 시각계와 몸감각계 정보간의 부조화가 있을 때 안뜰계의 역할은 더욱 두드러진다.

운동기능. 안뜰계는 근육 활동을 조절한다. 직립자세를 하는 동안, 일과성 근수축을 개시하고 근육 긴장을 조절한다. 그리고 폭주, 반대방향으로의 매끈안구추적운동(smooth pursuit eye movement), 머리 움직임과 비슷한 속도를 만들어내면서, 머리와 몸을 움직이는 동안 주시를 안정화시키는 것을 보조한다. 안뜰눈반사는 목표물이 고정되었을 때와 머리와 신체 위치가 예상 밖의 동요가 있을 때 주시를 안정화시킨다. 주시 안정화는 명확한 시야를 위해 필수적이다: 안뜰눈반사가 바깥근육의 핵, 목의 고유수용감각, 망막에 맺힌 상의 위치에 대한 효과가 통합되어 나타나기 때문이다.

④ 압력감수체: 피부아래에 위치한 압력감수체는 환경과 다양한 신체부위에 의해 만들어지는 접촉의 강도를 측정한다. 압력감수체는 기저면에 대한 정보를 보낼 때 균형 유지에 중요한 역할을 한다(Keshner와 Peterson, 1989).

자세조절계는 끊임없이 변화되는 상황에 포함된다. 자세조절의 가장 뚜렷한 특성은 여러 움직임 환경에서 유용한 기능적 반응을 유지하는 능력이고 이러한 환경요소 중 하나 혹은 그 이상에서 비정상적인 기능에 대해 적응하는 능력이다(NIDOCD, 1989). 개체가 걷는 동안 지평선을 바라보는 동안 혹은 공을 잡고 뛰는 동안 머리의 움직임은 일어나고 다양한 감각에 의해 정보를 제공받는다. 여러 감각에서 오는 부조화된 정보와 경쟁하기 위해, 자세조절계는 시각계, 안뜰계, 몸감각계 입력에서 오는 방향적으로 정확한 정보를 선택하고 부정확한 정보를 무시하는 능력을 가졌다. 서기와 움직이기와 같은 정상적인 활동은 균형이 잘 잡힌 정위 자세를 요구한다.

4. 노화와 균형의 손상

신체 방향에 대한 안뜰계 정보는 몸감각계와 시각계의 신호가 부족할 때 중요하다. 안뜰계의 기능적 변화가 심각할 때 안뜰반사에 심각한 혼란을 발생한다. 예를 들어, 자발적 안진, 호린 시야를 동반한 주시 조절의 소실, 방향성 손상, 자세 붕괴들이다. 균형기능에 도움이 되는 신경계 기능이 악화가 진행될 때, 중추신경계가 기능적 변화에 대해 적응하고 보상할 수 있는 한 균형은 유지되고, 보상전략이 더 이상 기능적 감소를 상쇄하지 못하면 만성 불안정성이 일어난다.

노화와 관련된 형태학적 변화가 자세 유지에 필요한 모든 신체에서 일어난다. 즉, 안뜰계의 털세포에 유의한 소실, 일차 안뜰신경원의 감소, 대뇌의 신경세포 밀도의 감소, 소뇌의 풀킨예세포 수 감소(Sloane, Baloh와 Honrubia, 1989) 등이다. 그리고 하지와 근골격계의 건 수용체의 감소, 감각계와 운동계의 변성이 포함된다. 미로의 감각기관, Scarpa 신경절의 일차 들신경로, 안뜰신경복합체의 이차 신경원과 신경섬유, 소뇌, 중추신경계 일부를 포함한 안뜰신경계에 노화와 관련된 변성이 규명되어왔다. 일차신경원과 이차신경원의 점진적인 소실은 약 40세쯤 시작한다(Lopez, Honrubia와 Baloh, 1997). 이들은 노화와 관련된 선-안뜰눈반사의 변화로 선-안뜰눈반사 잠복시의 증가, 초기 선-안뜰눈반사 민감도 감소로 이는 말초 안뜰계의 변화 때문이라고 했다.

안뜰소뇌로는 평형모래와 안뜰눈반사에 특히 중요하다. 소뇌의 풀킨예세포 수가 0세에서 100세까지 10년마다 평균 2.5%씩 감소하다가 60세 이후부터는 소실이 가속화된다(Sloane 등, 1989). 그리고 노인들은 평형모래에서 오는 들신경 입력의 결합, 평형모래 입력의 중추로 가는 과정의 결합이 있다.

노화와 관련된 안뜰계의 변화는 안뜰눈반사의 이득이 노화에 따라 감소한다. 이 감소는 50-60세까지 조금씩 일어나다가 그 이후부터는 빠르게 감소한다. 이러한 변화는 대뇌 조직의 노화과정 때문이고, 안뜰신경 위핵의 소실 때문일 것이다(Paige, 1994). 안뜰신경 위핵은 반고리관 안뜰눈반사에 중요한 역할을 한다. 노인들은 젊은 사람에 비해 안뜰눈반사를 억제하고 강화하는 능력이 감소된다. 안뜰눈반사 억제의 손상은 노화와 관련된 신경 퇴행질환과 관련 있다(White, Saint-Cyr와 Sharpe, 1983). 안뜰눈반사의 억제의 감소와 낙상 간의 직접적인

관계를 보여주는 것으로 낙상의 위험도가 높은 여성은 위험도가 낮은 여성 만큼 효과적으로 안뜰눈반사를 억제하지 못했다(Di Fabio등, 2001). 낙상 위험도가 높은 환자들은 앉은 자세에서 발딛기를 개시하는 동안 바닥을 볼 수 없었고, 따라서 바닥 표면을 관찰하는 것이 손상되었다. 그들은 또한 부적절한 안뜰눈반사의 억제는 적절한 안뜰눈반사의 억제를 가진 사람에 비해 낙상의 위험도가 18배 증가한다고 했다.

자세조절은 정확한 주시 운동을 위해 시각계를 안정화시키는데 중요하다. 공간적인 방향력은 시각계, 안뜰계, 몸감각계에서 오는 모든 감각 입력의 통합을 요구한다. 이러한 통합능력은 자세의 안정성 뿐만아니라, 주시 안정성을 유지할 수 있다. 노화와 관련된 시각과 눈운동 기능의 변화는 낙상의 위험을 증가시킨다. 안뜰눈반사의 기능이 떨어지면, 보여지는 세상의 움직임에 착시 혹은 동요시(oscillopsia)를 일으켜 어지럼과 불균형을 초래한다(Emasithi, 2002).

5. 안뜰재활운동

안뜰재활운동은 1945년 물리치료사 Cawthorne과 신경과 의사 Cooksey가 머리 외상으로 인해 일측성 안뜰신경 장애 환자들을 치료하기 위해 고안했다. 그들은 일련의 운동을 개발하여 환자들의 현훈과 균형손상을 치료하였다. Cawthorne-Cooksey 운동에는 머리운동, 머리와 눈의 협응을 요구하는 과제, 전체적인 신체 운동, 균형운동이 포함되었다(Table 1). 운동의 효과가 말초 안뜰장애에 매우 유용한 것을 발견 한 후, 안뜰계 장애 환자들을 치료하는 근간이 되었다(Herdman, 2000).

안뜰계(안뜰신경병증) 안에 장애가 있는 사람들은 종종 어지럼, 시각(visual)장애 혹은 응시(gaze)장애, 균형장애를 호소한다. 어지럼은 심각하게 활동과 참여에 제약을 주게 된다. 안뜰신경 장애 환자의 치료를 위해 안뜰재활운동의 사용에 대한 관심이 증가해왔다(Hoffer와 Balaban, 2011).

안뜰재활운동의 기전은 다음과 같다.

첫째, 보상반응(자세 혹은 움직임으로 유발되는 증상), 중추신경계 고유의 가소성에 기초를 두고 있고, 반복적인 자극에 대한 반응성을 감소 혹은 습관화 하는 운동을 사용하고, 안뜰신경핵 내 긴장성 활동을 재균형 잡도록 사용한다. 이 과정은 종종 습관화라고 명명되어지는 동

Table 1. Cawthorne–Cooksey Exercises by Dix. 1979.

| |
|--|
| <p>1. In bed or sitting</p> <p>1) Eye movements - at first slow, then quick</p> <p>①up and down</p> <p>②from side to side</p> <p>③focusing on finger moving from 3 feet to 1 foot away from face</p> <p>2)Head movements at first slow, then quick, later with eyes closed</p> <p>①bending forward and backward</p> <p>②turning from side to side</p> <p>2. Sitting (in class)</p> <p>1)Eye movements and head movements as above</p> <p>2)Shoulder shrugging and circling</p> <p>3)Bending forward and picking up objects from the ground</p> <p>3. Standing (in class)</p> <p>1)Eye, head and shoulder movements as before</p> <p>2)Changing from sitting to standing position with eyes open and shut</p> <p>3)Throwing a small ball from hand to hand (above eye level)</p> <p>4)Throwing a ball from hand to hand under knee</p> <p>5)Changing from sitting to standing and turning around in between</p> <p>4. Moving about (in class)</p> <p>1)Circle around center person who will throw a large ball and to whom it will be returned</p> <p>2)Walk across room with eyes open and then closed</p> <p>3)Walk up and down slope with eyes open and then closed</p> <p>4)Walk up and down steps with eyes open and then closed</p> <p>5)Any game involving stooping and stretching and aiming such as bowling and basketball</p> |
|--|

안, 보상과정 혹은 신경가소성 과정일 가능성이 많다. 보상과정에서 양쪽에 있는 안뜰복합체간의 맞교차 연결(commisural connections)의 변화가 중요하다. 맞교차 연결의 재조직화(reorganization)가 손상 쪽을 극복하기 위해 정상쪽의 조절을 강화시킨다(Galiana, Flohr와 Jones, 1984).

둘째, 시각-안뜰 상호작용에 대한 적응(주시 안정성)과 눈/손의 가능한 협응, 안뜰눈반사 이득을 회복하기 위해 그리고 오류를 감소하기 위해 머리와 눈의 반복적이고 자극적인 운동을 사용한다. 반복적인 안뜰운동을 통해 시각 의존성의 정도를 감소시켜 가소적 변화와 적응적 변화를 유발하는 것이다.

셋째, 대치는 비정상적인 안뜰 입력으로부터 우회하는 방법으로 혹은 역으로 보상전략의 사용을 강화하도록 감각 입력들의 조합 혹은 개별적 감각입력의 사용을 촉진한다. 몸각각 신호, 시각 신호 혹은 목 고유수용성 신호와 같은 안뜰 바깥의 신호들은 안뜰 신호를 대치할 수 있거나 남아있는 안뜰 입력에 대해 안뜰복합체 신경원의 반응을 촉진할 수 있다.

넷째, 자세조절 운동, 낙상 방지, 이완 훈련, 활동 재개,

기능적/직업적 재훈련은 운동행동을 변화시키기 위해 그리고 운동 적합성을 촉진하기 위해 운동학습 원칙에 근거한다.

안뜰장애로 인한 증상은 발병후 3-14일 이내 해결된다. 증상이 사라지는 시기가 안뜰핵 신경원의 안정시 발화율의 회복과 일치한다(Yagi와 Markham, 1984). 자발적인 회복은 아마 축삭의 발아와 탈신경 초과민성(denervation supersensitivity) 혹은 축삭 재생 때문일 것이다.

안뜰눈반사의 소실로 인한 주시 불안정성에 대한 안뜰 재활운동은 주시 조절을 향상시키기 위한 재활치료로 구성된다. 즉, 매끈안구추적운동, 급속눈운동, 시운동계를 강화시키는 것과 남아있는 안뜰 감각계를 증가시키는 것이다. 주시 조절의 회복은 어지럼 증상을 조절하는데 중요하다. 안뜰눈반사에 사용되는 주시 활동은 단계를 나누어서 해야한다; 처음에는 머리를 고정시킨채 시각적 목표물을 따라(tracking) 움직이고, 머리 운동(이미 계획된)을 증가시키고, 마지막으로 수동적(예측하지 못하는) 머리 운동을 추가한다(Scherer와 Schubert, 2010).

많은 연구는 가짜운동을 중재한 군 혹은 중재를 하지 않은 군과 비교했을 때 균형, 일상생활동작, 시야(vision)의

개선에 안뜰재활운동이 효과적임을 보여주었다(Herdman, Clendaniel, Mattox, Holliday와 Niparko, 1995). Horak, Jones-Rycewicz, Black과 Shumway-Cook(1992)은 일측성 말초 안뜰 장애를 가진 환자의 어지럼을 개선하는데 약물 보다 안뜰재활운동이 우수하다고 했다. Vereeck, Wuyts, Truijen, De Valck과 Van de Heyning(2008)는 50세 이상의 참여자들이 일반적인 지도와 비교했을 때 안뜰재활운동이 자세조절을 획득하는데 훨씬 빨랐고, 큰 이점은 수술 후 12개월 동안 자세조절이 유지되었다고 했다. Cakrt 등(2010)은 안뜰재활운동의 일부분으로서 시각 피드백을 받은 신경초종(schwannoma)을 제거한 환자가 시각 피드백을 받지 않은 환자보다 균형 항목에서 훨씬 개선되었음을 보였다. Strupp, Arbusow, Maag, Gall과 Brandt(1998)은 안뜰신경종이 있는 환자가 안뜰재활운동을 수행했을 때 자세조절에 더 큰 개선이 있었다고 했다. 다른 연구자들 또한 특화된 안뜰재활운동이 일반적인 운동 프로그램과 비교했을 때 환자의 증상, 동적인 시력, 보행, 자세 안정성에 훨씬 큰 효과를 보였다고 했다(Szturm 등, 1994).

안뜰계 기능이 떨어졌을 때 치료는 안뜰재활과 약물 치료, 수술법이 있다. 안뜰재활운동은 기능장애의 증상과 징후를 조절하도록 환자를 교육하는 것과 운동하는 것이 혼합된 것이다(Hillier, 2011; Hall, 2009). 운동은 습관화와 적응을 촉진하고 운동 대치 전략과 감각 대치 전략을 촉진한다. 습관화 운동은 증상 유발 머리 운동을 반복함으로써 어지러움과 오심을 감소시킨다. 적응 운동은 목표지점에 눈을 고정시키는 동안 반복적인 머리 운동으로 구성되었다(Herdman, Hall과 Schubert, 2007). 이것들은 안뜰반사의 적응과 보상적 급속눈운동의 발달을 통해 주시(gaze)의 안정성을 향상시킨다. 보상적 급속눈운동은 손상된 안뜰반사를 대치하는 운동이다. 감각대치운동은 자세조절을 보조하기 위해 비안뜰 감각계를 사용하는 것이다.

Herdman 등(2007)은 양측 안뜰신경 장애(BVH) 환자의 안뜰반사 회복을 조사하였다. 운동프로그램에는 점진적인 주시(gaze) 안정성 운동과 정적, 동적 균형 운동이 포함된다. 주시 안정화를 위해 실험군에 사용된 운동은 멀리 있는 목표물과 가까이 있는 목표물에 상이 맺히는 동안 머리의 운동을 하는 것으로 이루어졌다. 진행상황으로 환자에게서 멀리 있는 목표물과 가까이 있는 목표물 사이에 상이 맺히도록 하면서 눈과 머리 운동을 수평으로 수직으로 하는 것을 추가한다. 정적, 동적 균형운

동은 유연한 표면위에서 발의 위치를 다양하게 하면서 수행된다. 정확한 운동 강도를 결정하기 위해 각 세션의 시작과 끝에 시각 지수(visual analog scale)를 사용하여 어지럼의 정도를 물어본다. 운동에 대한 수용 가능한 반응은 어지럼 증상이 약간 증가하는 것으로 간주된다. 그 결과 치료 전후의 동체시력(Dynamic Visual Acuity, DVA) 점수가 유의하게 개선되었다. 따라서 머리 운동과 함께 시선 고정은 머리가 움직이는 동안 주시 안정성을 향상시킴을 의미한다.

안뜰 재활의 이상적인 강도는 명확하지 않다. 일부 연구는 가정 운동 프로그램을 처방하기 위해 단지 한 번의 감독 하에 방문하는 것으로 최소한의 치료 접근법을 사용했고, 운동을 정확하게 수행하기 위해 피드백이 필요하고 계속적인 격려와 함께 가정 운동을 확실히 하는지 주기적으로 보아야 한다(Hillier와 McDonnell, 2011).

Murray, Carroll과 Hill(2001)의 연구에 사용된 안뜰재활치료는 Shepard, Telian과 Smith-Wheelock(1990)이 제안한 것에 기본 바탕을 두고 개발한 개별화된 가정 운동으로 습관화, 주시 안정성, 균형, 가동성, 건강 훈련(fitness training)이 포함되었다. 습관화 훈련은 증상을 유발시키는 동작 혹은 특수한 자세를 반복함으로써 어지럼과 현기증의 증상을 제거하거나 감소시키는 것이 목적이다. 주시 안정성 훈련은 눈-머리-협응을 개선시키는 것으로 빈도를 점점 넓게 한다(Herdman 등, 1994). 균형과 가동 훈련은 균형의 회복을 촉진하기 위해 사용되고, 감각입력 선택의 문제와 중력중심 주변으로 가동성이 제한된 체중 부하의 비대칭을 교정하기 위한 운동이 들어간다. 건강 훈련은 회복을 촉진시키기 위함이고 나이, 건강 상태, 개인의 흥미에 맞게 만들어진다. 예를 들어 걷기, 조깅, 유산소 운동, 자전거 타기, 골프와 볼링 같은 스포츠가 포함된다.

안뜰재활운동의 목표 중 하나는 증상을 유발하는 동작에 점진적이고 구조적으로 노출하면서 환자를 둔감하게 하는 것이다. 자세 안정성에 대한 적당한 감각입력을 선택하는 능력이 장애가 될 때, 재활운동은 균형을 유지할 수 있는지 물어보는데 초점을 맞춘다. 노인들처럼 시각 의존성을 가진 환자들을 위해 접근하는 운동법은 환자가 고유수용신호와 사용 가능한 안뜰 신호에 더 의존하는 것을 배우도록 한다(Shumway-Cook, 1990). 또 다른 목표는 일상생활을 하는 동안 안뜰반사의 기능적인 회복이다. 여기에는 이동할 때 능동적인 머리 운동을 하는 동

안 어지럼 없이 혹은 최소한의 어지럼으로 시각을 고정 (visual fixation)하는 것이 포함된다.

일측성 안뜰신경 장애의 치료는 신경 가소성을 이끄는 기능적-지향 과제와 목표-지향 과제를 요구한다. Szturm, Ireland와 Lessing-Turner(1994)의 연구에서 목표-지향적인 안뜰재활운동에 안뜰눈반사의 적응과 균형 운동이 포함되었다. 이 운동은 다양한 시각적 환경과 몸 신경 환경에서 균형 운동, 목표-지향적인 눈과 머리 운동, 눈과 머리운동과 위치변화를 포함하는 가정 운동 프로그램으로 구성되었다. 그 결과 목표-지향적인 안뜰재활운동은 안뜰눈반사의 보상을 개선시켜 망막 미끄러짐이 안뜰눈반사 보상과 주시 안정성을 촉진하는데 사용된다는 견해를 지지했다(Herdman 등, 1998). 안뜰재활운동은 서기 자세조절을 유의하게 향상시켰다.

Meli, Zimatore, Badaracco, De Angelis와 Tufarelli (2006)의 연구에서는 안뜰재활운동을 4주 동안 일주일에 두 번씩 실행했고 하루에 2번 각 20-30분 동안 가정 운동 프로그램을 실시했다. 그 결과 주시 안정성과 균형이 유의하게 증가하였다고 했다. 주시 안정성의 적응을 위해서 신경계는 시각 고정을 사용할 필요가 있고 머리와 목표물의 움직임을 동반한 망막의 미끄러짐 정도를 단계별로 노출시킬 필요가 있다(Reimer, 2013). Kammerlind, Ledin, Odkvist와 Skargren(2005)는 일측성 안뜰장애가 있는 환자들을 두 군으로 나누었다. 한 군은 가정 안뜰재활운동을 받는 것이고, 다른 한 군은 가정 안뜰재활운동에 추가적인 임상 물리치료를 추가적으로 받는 것이다. 가정 운동은 10주 동안 15분씩 매일 수행되었다. 가정 운동은 눈 운동, 고정된 목표물에 초점을 맞추는 동안 눈과 머리의 운동, 눈을 감고 두 발로 서기, 머리를 수평으로 회전하고 그 다음 수직으로 회전하면서 선위에 걷기로 구성되었다. 추가적인 물리치료에 포함되는 것으로 눈과 머리 운동, 단단한 면 위에서 서기와 걷기, 더 진행하면 눈을 감거나 뜨고 고르지 못한 면위에 서기와 걷기이다. 더 진행하면 다양한 지지면 위에서 걷는 동안 머리의 운동, 공을 던지고 차기가 포함된다. 연구자들은 군별 증상과 측정결과의 차이를 볼 수 없었다.

최근에는 다양한 안뜰재활 프로그램이 개발되었다. 예를 들어, 화면에 가득찬 가상현실 혹은 시운동계 자극을 위한 큰 화면 사용으로 시각, 감각, 촉각 피드백을 제공한다.(Mergner, Schweigart, Maurer와 Blumle, 2005). Keshner와 Kenyon(2009)은 가상현실 환경에서 동적인 자

세조절 기계를 개발해 현실 세계를 자극하는 환경에서 자세 행동 훈련을 연구했다. 이 훈련은 눈과 머리 협응(주시 조절)을 향상시키고 감소된 안뜰눈반사에 대한 적응을 통해 움직임 감지(motion sensitivity)와 현훈 증상을 감소시키기 위함이다.

안뜰재활치료는 운동에 기초를 둔 치료 프로그램으로 자세 안정성 촉진과 안뜰계의 적응에 초점을 둔 운동을 통해 만성 불균형이 있는 환자들의 일상 기능을 향상시키고 안뜰질환의 증상을 감소시키는데 목적을 두었다. 미국 이비인후과-두경부외과 학회에서 안뜰재활치료는 “약물치료 혹은 수술치료로 인한 어지럼, 급성 말초 안뜰계 어지럼, 안뜰계의 보상이 불완전하여 어지럼이 지속할 때 하는 유효한 치료”라고 했다. 안뜰재활치료는 또한 다발적 감각결함과 운동결함으로 고통받는 노인들의 낙상 위험을 줄이는데 이점이 있다(AAOHNSF, 2007). 또한 뚜렷한 안뜰계 결함이 없는 어지럼 환자에게도 낙상을 감소시키는데 유용하다(Hall 등, 2010).

Ⅲ. 결 론

균형과 관련된 신경계는 잘 알려져 있고, 보편적으로 연구가 많이 이루어져 왔다. 하지만, 안뜰계 중에서도 안뜰눈반사의 기능과 균형과 관련된 연구는 드물다. 불균형과 어지럼을 가진 많은 사람들이 적절하지 못한 치료를 받고 있다. 어지럼과 불균형은 노인들의 삶의 질에 부정적인 영향을 준다. 불균형과 어지럼의 원인과 기전에 대한 정보는 의료계 종사자뿐만 아니라 일반 대중에게 많이 알려져 성공적인 결과를 가져오게 해야 한다. 노인이 되면 균형 문제뿐만 아니라 다른 신체 문제로도 다양한 약을 복용하는 실정이다. 여러 가지 약의 복합작용으로 생기는 부작용을 생각하면 약물이 아닌 다른 방법으로 치료를 한다면 아주 유용할 것으로 생각된다. 안뜰재활운동은 많은 연구를 통해 안전하고 효과적이고 비침습적인 치료로 인정받았다. 따라서 개인에 맞는 안뜰재활운동을 통한 균형에 대한 많은 연구가 이루어져 노인의 낙상을 방지하는데 도움이 되기를 바란다.

REFERENCES

- Allum, J. H. J. (1988). Long-term modifications of vertical and horizontal vestibulo-ocular reflex dynamics in man. *Acta Otolaryngol.*, *105*, 328-337.
- Am Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery (2007). *Guidelines and policies policy statement: Vestibular rehabilitation*.
- Baloh, R. W., & Honrubia, V. (1990). *Clinical Neurophysiology of the Vestibular System* (2nd ed). Philadelphia, Penn. F.A. Davis Co.
- Barela, J. A., Jeka, J. J., & Clark, J. E. (2003). Postural control in children: Coupling to dynamic somatosensory information. *Exp Brain Res.*, *150*, 434-442.
- Cakrt, O., Chovanec, M., Funda, T., Kalitova, P., Betka, J., & Zverina, E. et al. (2010). Exercise with visual feedback improves postural stability after vestibular schwannoma surgery. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, *236*, 1355-1360.
- Choi, K. D., Oh, S. Y., & Kim, J. S. (2006). Head thrust test. *J of the KSCN.*, *8*(1), 1-5.
- Cohen, H., Burkardt, A., & Cronin, M. J. (2006). Specialized knowledge and skills in adult vestibular rehabilitation for occupational therapy practice. *The American Journal of Occupational Therapy*, *55*, 661-665.
- Della Santina, C. C., Cremer, P. D., Carey, J. P., & Minor, L. B. (2001). The vestibulo-ocular reflex during self-generated head movements by human subjects with unilateral vestibular hypofunction: improved gain, latency, and alignment provide evidence for preprogramming. *Ann N Y Acad Sci.*, *942*, 465-466.
- Di Fabio, R. P., Emasithi, A., Greany, J. F., & Paul, S. (2001). Suppression of the vertical vestibulo-ocular reflex in older persons at risk of falling. *Acta Otolaryngol.*, *121*(6), 707-714.
- Dietz, V., Horstmann, G. A., & Berger, W. (1989). Significance of proprioceptive mechanisms in the regulation of stance. *Prog Brain Res.*, *80*, 419-423.
- Dix, M. R. (1979). The rationale and technique of head exercises in the treatment of vertigo. *Acta Oto-rhino-laryng*, *33*, 370.
- Dorman, J., Fernie, G. R., & Holliday, P. J. (1978). Visual input: Its importance in the control of postural sway. *Arch Phys Med Rehabil.*, *59*, 586-591.
- Galiana, H. L., Flohr, H., & Jones, G. M. (1984). A reevaluation of intervestibular nuclear coupling: its role in vestibular compensation. *J Neurophysiol.*, *51*, 242-259.
- Goldring, J. E., Dorris, M. C., Cornell, B. D., & Ballantyne, P. A. (1996). Combined eye-head gaze shifts to visual and auditory targets in humans. *Experimental Brain Res.*, *111*, 68-78.
- Hall, C. D., & Cox, L. C. (2009). The role of vestibular rehabilitation in the balance disorder patient. *Otolaryngol Clin North Am.*, *42*, 161-169.
- Hall, C. D., Heusel-Gilling, L., & Tusa, R. J. (2010). Herdman SJ: Efficacy of gaze stability exercises in older adults with dizziness. *J of Neurol PT.*, *34*, 64-69.
- Herdman, S. J. (2000). *Vestibular Rehabilitation* (2nd Ed). Philadelphia. F.A. Davis Co.
- Herdman, S. J., Clendaniel, R. A., Mattox, D. E., Holliday, M. J., & Niparko, J. K. (1995). Vestibular adaptation exercises and recovery: acute stage after acoustic neuroma resection. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, *113*, 77-87.
- Herdman, S. J., Hall, C. D., & Schubert, M. C. (2007). Recovery of dynamic visual acuity in bilateral vestibular hypofunction. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.*, *133*, 381-389.
- Herdman, S. J., Tusa, R. J., Blatt, P., Suzuki, A., & Venuto, P. J. (1998). Computerized dynamic visual acuity test in the assessment of vestibular deficits. *Am J Otol.*, *19*, 790-796.
- Herdman, S., Borello-France, D., & Whitney, S. (1994). Treatment of vestibular hypofunction. In: Herdman S(Ed). *Vestibular Rehabilitation*. Philadelphia: Fa Daves, 287-315.
- Hillier, S. L., & McDonnell, M. (2011). Vestibular rehabilitation for unilateral peripheral vestibular

- dysfunction. *Cochrane Database Syst Rev.*, 2, 1-49.
- Hoffer, M., & Balaban, C. (2011). Vestibular rehabilitation: ready for the mainstream. *Neuro Rehabilitation*, 29, 125.
- Hughes, G. B., & Pensak, M. L. (1997). *Clinical Otology* (2nd ed). New York, NY: Thieme Medical Publisher, Inc.
- Kammerlind, A. S., Ledin, T. E., Odkvist, L. M., & Skargren, E. I. (2005). Effects of home training and additional physical therapy on recovery after acute unilateral vestibular loss—a randomized study. *Clin Rehab.*, 19(1), 54-62.
- Keshner, E. A., & Kenyon, R. V. (2009). Postural and spatial orientation driven by virtual reality. *Studies in Health Technology and Informatics*, 145, 209-228.
- Keshner, E., & Peterson, B. (1989). Frequency and velocity characteristics of head, neck, and trunk during normal locomotion. *Soc Neurosci Abstr.*, 15, 1200.
- Kim, J. S. (1999). Physiology of eye movements. *J of the KSCN.*, 1(2), 173-181.
- Kwon, G. H., Park, M. S., & Byun, J. Y. (2008). Subjective visual vertical during eccentric rotation in acute vestibular neuritis patients. *J Kor Balance Soc.*, 7(2), 182-187.
- Lopez, I., Honrubia, V., & Baloh, R. W. (1997). Aging and the human vestibular nucleus. *J Vestib Res.*, 7, 77-85.
- MacNeilage, P. R., Banks, M. S., Berger, D. R., & Bulthoff, H. H. (2006). A bayesian model of the disambiguation of gravito-inertial force by visual cues. *Exp Brain Res.*, 179(2), 263-290.
- Meli, A., Zimatore, G., Badaracco, C., De Angelis, E., & Tufarelli, D. (2006). Vestibular rehabilitation and 6-month follow-up using objective and subjective measures. *Acta Oto-Laryngologica*, 126(3), 259-266.
- Murray, K., Carroll, S., & Hill, K. (2001). Relationship between change in balance and self-reported handicap after vestibular rehabilitation therapy. *Physiotherapy Res Intern.*, 6(4), 251-263.
- National Institute on Deafness and Other Communication Disorders (1989). *Balance and the vestibular system: National strategie research plan*. Bethesda, Md: National Institutes of Health. April. 73-81.
- Paige, C. D. (1996). How does the linear vestibulo-ocular reflex compare with the angular vestibulo-ocular reflex? In: Baloh, R. W., Halmagyi, C. M., eds. *Disorders of the Vestibular System* (pp. 93-104). New York, NY, Oxford.
- Paige, G. D., Telford, L., Seidman, S. H., & Barnes, G. R. (1998). Human vestibulo-ocular reflex and its interactions with vision and fixation distance during linear and angular head movement. *J Neurophysiol.*, 80, 2391-2404.
- Raphan, T. & Cohen, B. (2002). The vestibulo-ocular reflex in three dimensions. *Exp Brain Res.*, 145, 1-27.
- Reimer, K. M. (2013). *Home-based compute gaming in vestibular rehabilitation: Effects on gaze stability and balance impairment*. Master of Science, University of Manitoba, Manitoba.
- Sharpe, J. A., & Barber, H. O. (1993). *The Vestibulo-Ocular Reflex and Vertigo*. New York, NY, Raven Press.
- Shepard, N., Telian, S., & Smith-Wheelock, M. (1990). Habituation and balance retraining therapy. *Diagnostic Neurotology*, 8, 459-475.
- Shumway-Cook, A., & Horak, F. B. (1990). Rehabilitation strategies for patients with vestibular deficits. *Neurol Clin.*, 8, 441-455.
- Sloane, P. D., Baloh, R. W., & Honrubia, V. (1989). The vestibular system in the elderly: Clinical implications. *Am J otolaryngol.*, 10, 422-429.
- Srulijes, K., Mack, D. J., Klenk, J., & Schwickert, L. (2015). Association between vestibulo-ocular reflex suppression, balance, gait, and fall risk in ageing and neurodegenerative disease: protocol of a one-year prospective follow-up study. *BCM Neurol.*, 15, 192-203.
- Stalenoef, P. A., Diederiks, J. P. M., Knottnerus, J. A., Kester, A. D. M., & Crebolder, H. F. (2002). A risk

- model for the prediction of recurrent falls in community-dwelling elderly. *J Clin Epidemiol.*, *55*, 1088-1094.
- Sterling, D. A., O'Connor, J. A., & Bonadies, J. (2001). Geriatric falls: Injury severity is high and disproportionate to mechanism. *J Trauma.*, *50*, 116-119.
- Strupp, M., Arbusow, V., Maag, K. P., Gall, C., & Brandt, T. (1998). Vestibular exercises improve central vestibulospinal compensation after vestibular neuritis. *Neurology*, *51*, 838-844.
- Szturm, T., Ireland, D. J., & Lessing-Turner, M. (1994). Comparison of different exercise programs in the rehabilitation of patients with chronic peripheral vestibular dysfunction. *J Vestib Resea: Equilibrium & Orientation*, *4*(6), 461-479.
- Telford, L., Seidman, S. H., & Paige, G. D. (1997). Dynamics of squirrel monkey linear vestibulo-ocular reflex and interaction with fixation distance. *J Neurophysiol.*, *78*, 1775-1790.
- Telford, L., Seidman, S. H., Paige, G. D., & Barnes, G. R. (1998). Canal-otolith interactions in the squirrel monkey vestibulo-ocular reflex and the influence of fixation distance. *Exp Brain Res.*, *118*, 115-125.
- White, O. B., Saint-Cyr, J. A., & Sharpe, J. A. (1983). Ocular motor deficits in Parkinson's disease I. The horizontal vestibulo-ocular reflex and its regulation. *Brain*, *106*, 555-570.
- Yagi, T., & Markham, C. H. (1984). Neural correlates of compensation after hemilabyrinthectomy. *Exp Neurol.*, *84*, 98-108.

Abstract

Review of Balance in Elderly by Vestivulo-ocular Reflex

Baek, Su-Jeong*, Ph.D. Candidate., P.T.

*Eroom Integrated Development Center

The purpose of this paper is to review vestibulo-ocular reflex and vestibular rehabilitation for balace problem in elderly.

Falling is a common problem associated with aging. Falling and the resulting consequences constitutes one of the most common and serious problems. Balance deficits are one of the top risk factors for falling. Three systems(visual, vestibular and somatosensory) need to be integrated and used to coordinate and control balance. During normal ambulation and head movement, the vestibulo-ocular reflex(VOR) stabilizes gaze, and helps to keep the image of the retina. There is a direct association between deficits in VOR and falls. Older adults have a decreased ability to enhance and suppress the VOR. Vestibular rehabilitation(VR) is an exercise-based group of approaches that began with the aim of central nervous system compensation. VR restores VOR gain and reduces error using repetitive movements of the head and eyes. Many researches showd balance and gait tests were superior in the VR group. It is considered this article helps to prevent elderly falling with vestibular rehabilitation.

Key words : Falling, Vestibulo-ocular Reflex(Vor), Vestibular Rehabilitation