

BİLİM DAMLALARI

Doç.Dr. Selçuk ALSAN

TIPTA NÜKLEER MANYETİK REZONANS

1946'da keşfedilen nükleer manyetik rezonans (NMR), hidrojen, karbon 13, sodyum 23, fosfor 31 vb. gibi bazı atom çekirdeklerinde oluşan bir fizik olaydır. NMR önceleri saf kimyasal maddelerin kimyasal analizinde kullanıldı. Yaklaşık 10 yıldır da tıpta teşhis amacı ile kullanılıyor. NMR hastaya en ufak bir zarar vermeyen, son derece netleştirilmiş bir röntgen olarak düşünülebilir. Teşhiste ve özellikle sinir hastalıkları (nöroloji) teşhislerinde çok değerli bir yöntemdir. Röntgenle görülemeyen birçok hastalık NMR ile kolayca teşhis edilebilir. NMR spektroskopisi sayesinde vücutta fosfor, kalsiyum vb. gibi elemanların izlediği yol belirlenebilir.

Tıpta bugün vücut içi imajlarını (imge) elde etmek için röntgen (radyografi), ultrason (ekografi), radyoaktif izotoplar, bilgisayarlı tomografi (B.T.) vb. yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler ucuz sayılmaz, fakat birbirlerini tamamladıklarından hepsine ihtiyaç vardır. Röntgen ve ultrason yalnız vücut yapısı (anatomiyi) hakkında bilgi sağlar. Radyoaktif izotoplar ile elde edilen imajlar (sintigram veya scanning) orga-



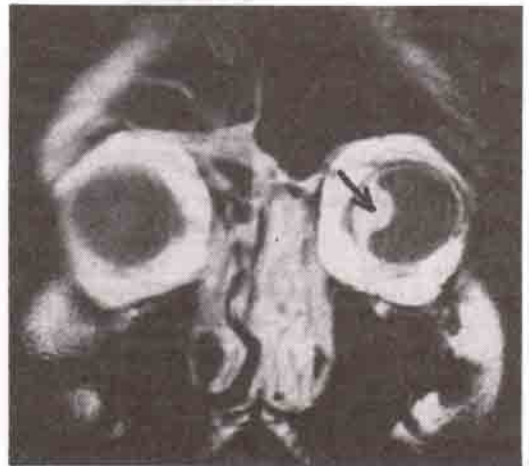
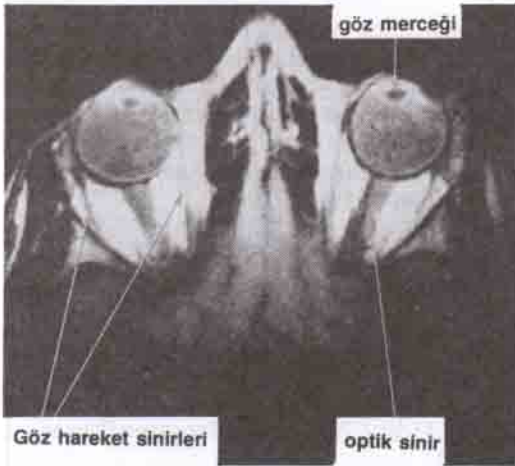
NÜKLEER MANYETİK REZONANS CİHAZI

Arka planda hastanın çok güçlü bir manyetik alan içine sokulduğu görülüyor. Ön planda bilgisayarlar var, sağdaki verileri kaydediyor, soldaki verileri birleştirip vücudun bir kesitinin kesimini oluşturuyor, burada karnın kesiti görülmektedir.

nın fonksiyonu hakkında da bilgi verir. 10 yıldan beri yeni bir teknik uygulanıyor: Nükleer manyetik rezonans imajları (NMI). Bu teknik yalnız çok net anatomik imajlar vermekle kalmaz, dokuların biyokimyasal durumu hakkında da bilgi verir.

Röntgen ışınları ile yapılan tomografi gibi NMI de vücudun bir kesitini inceler. Fakat NMI ile elde edilen imajlar tomografiye göre çok daha nettir. Ayrıca NMI röntgen vb. gibi zararlı ışınlar kullanılmadığından tamamen tehlikesizdir.

NMI'nin esası şudur: Bazı maddeler, örneğin su, elektromanyetik dalgalarla (radyo dalgaları vb.) ışınlandırıldığında enerji emer. Bunun nedeni bazı atom çekirdeklerinin, örneğin H_2O 'daki H çekirdeğinin, küçük mıknatıslar gibi davranmasıdır. Bu özelliğe nükleer manyetizm denir. Nükleer manyetizm önce kuantum mekaniğinde teorik olarak ortaya atılmış, sonra 1930'da ABD'de I.Rabi tarafından gösterilmiştir.



NÜKLEER MANYETİK REZONANS İLE ALINMIŞ GÖZ RESİMLERİ

Sol: Göz küreleri, göz merceği, optik sinirler ve göz hareket sinirleri (oklar)

Sağ: Göz küresi içinde melanom denen habis tümör (ok)

NMR'yi ise 1946'da iki Amerikalı fizikçi birbirlerinden habersiz aynı zamanda bulmuşlardır. Harvard'dan E.Purcell ve Stanford'dan F.Bloch.

E.Purcell'in deneyinde nükleer manyetizm özelliği taşıyan bir madde (örneğin H'li bir madde) kuvvetli bir manyetik alana konmuş ve frekansı yavaşça değişen bir elektromanyetik dalga ile sürekli ışınlandırılmıştır. Purcell, "rezonans frekansı" denen belli bir frekansta, dalga enerjisinin bir bölümünü ortamın absorbe ettiğini görmüştür. Bu rezonansın frekansı, uygulanan manyetik alanın şiddeti ile orantılıdır. Ayrıca nükleer manyetizm özelliği olan atomların içinde buldukları ortam da rezonans frekansını etkiler. NMR spektroskopisi bugün molekül yapısını incelemek üzere biyolog, kimyacı ve kristal uzmanlarınca kullanılmaktadır.

NMR nedeniyle geçtiği ortama bir miktar enerji bırakan elektromanyetik dalga, aynı zamanda o ortamı denge durumundan ayırmış olur; ortam eski haline dönerken absorbe ettiği enerjinin bir bölümünü geri verir. Bu olayı da F.Bloch göstermiştir. Bloch ortama sürekli ışınlar yerine elektromanyetik dalga püskürtmeleri (pulsasyonlar) vermişti. Bu yöntemde elde edilen sinyalin şiddeti ortamdaki hidrojen çekirdeklerinin (proton) yoğunluğuna bağlıdır. Bu sinyalin biçimi çok karmaşıktır, çünkü sinyal birçok dalganın üstüste gelmesinden oluşur. Bu dalgaların frekansı, ortamda nükleer manyetizm gösteren atomların kimyasal varlığına bağlıdır. Yayınlanan ışınların spectrumunu (tayfını) belirlemek için sinyaldeki frekanslar analiz edilmelidir. Bu işlem bir sesin içindeki farklı frekansları belirlemek için sesi harmoniklerine ayırmaya benzer.

Bu frekans analizi işlemine matematikte Fourier analizi denir. Fourier analizi uygulaması ABD'de Princeton Üniversitesi'nde 1965'de J.W.Cooley ve J.W.Tuckey tarafından bulunan bir yöntemin 1970'li yıllarda bilgisayarlara uygulanması ile hızlandı. Pulsasyonlu NMR spektroskopisi tekniği E.Purcell'in tekniğini geride bıraktı, zira daha hızlı ve ayrıntılı analizlere olanak sağlıyordu.

Bu keşfin tıbbi uygulanmasını sağlayan nükleer manyetizm gösteren çekirdeklerin bir bölümünün (H, C13, Na23, P31) insan vücudunda olmasıdır. Bunlardan en önemli hidrojenidir, çünkü insan vücudu ortalama % 75 H₂O içerir. 1971'de ABD'de R.Damadian pulsasyonlu NMR metodunu tıbbi imajlar elde etmede kullandı. Daha sonra karmaşık olan bu yöntemin yerini New York Üniversitesinden P.Lauterbur'un yöntemi (bilgisayarlı tomografi için kullanılan yöntemin bir benzeri) aldı. NMR çok güçlü bir teşhis metodudur. Dünyada 300 NMR aleti olup bunlardan 7'si Fransa'dadır. NMR'nin ilk kullanıldığı alan beyin ve omurilik hastalıklarının teşhisi olmuştur.

NMR'ı anlamak için bazı fizik esaslarını bilmemiz gerekir. Bazı atom çekirdeklerinin manyetik olmalarının nedeni, kendi etraflarında dönmeleridir; fizikçiler buna "bu çekirdeklerin spin'i var" derler. Çekirdekler elektrik yüklü olduklarından bu hareket bir **manyetik moment** yaratır; tıpkı bir bobinden geçen elektriğin manyetik moment oluşturması gibi. Fakat bobinden farklı olarak çekirdek, kuantum fiziği kurallarına uyar. Güçlü bir manyetik alana konulan atom çekirdeklerinin manyetik momenti, alanın eksenini doğrultusunu alır ve belli bazı değerlerden birini almak zorunda kalır. Proton için birbirine karşı işaretli iki manyetik moment olasıdır, bunla-



NÜKLEER MANYETİK REZONANS'IN DEV BOBİNLERİ

NMR'da çok güçlü manyetik alanlar yaratmak için süperiletken bobinler kullanılmaktadır. Bobinler -269°C'da bulundurulur. Arka planda sağda dev bir termos biçiminde sıvı azot ve sıvı helyum içeren soğutucu görülmektedir. Bunun içine ön planda görülen dev silindiri girer. Hasta bu silindirine konur. Soğutucu ile merkez silindiri arasındaki hava boşaltılarak hasta soğuktan korunur.

rın niceliği sabit olup yönlere uygulanan manyetik alanın aynı veya karşıdır. Bunlardan ilkinde **paralel**, ikincisine **anti-paralel** durum denir. Denge durumunda paralel protonların sayısı antiparalel protonlardan biraz fazladır. Manyetik alanın şiddeti arttıkça bu fark artar. Bunun sonucu olarak H çekirdekleri küçük birer mıknatıs gibi davranmaya başlar. Bu iki durumun enerji düzeyleri de farklıdır; paralel çekirdeklerin enerjisi antiparalel çekirdeklerden biraz daha azdır. Bu enerji farkı manyetik alan şiddetine paralel olup Purcell'in 1946'da bulunduğu rezonanslı absorpsiyonun nedenidir. Şimdi H çekirdekleri üzerine bu enerji farkına karşılık bir f frekansındaki elektromanyetik dalgalar gönderelim; bunun sonucu paralel çekirdekleri antiparalel hale geçer. 1 Tesla'lık (dünya manyetik alanını 20.000 kat) bir manyetik alana konulan H çekirdeklerinin rezonans frekansı 42.577 MHz'dir, bu ise kısa dalga radyo dalgalarına karşılıktır.

Tek bir H atomu kuantum fiziğine uyduğu halde, güçlü bir manyetik alana konan çok sayıda proton, klasik mekanik kurallarına uyar. Bu atomlar dönme eksenini boyunca küçük bir miktar taşıyan bir topaç olarak düşünülebilir. Topacın dönüş eksenini manyetik alana paraleldir (manyetik alan dikey düşünelim). Şimdi ilkinde dik ikinci bir elektromanyetik alan uygulayalım: Topaç yatar ve bir jiroskop gibi davranmaya başlar; hem kendi eksenini etrafında döner, hem de dönme eksenini dikey bir çizgi etrafında yukarıda verilen f frekansını ile dönmeye başlar ve bu olaya **presesyon** denir. Topacın yatma açısı elektromanyetik pulsasyonun süresi ile orantılıdır. Bu pulsasyon durursa topaç presesyon hareketine devam etmekle birlikte yavaşça doğrulur. Bu sırada manyetik momentin dikey eksen üzerindeki izdüşümü giderek büyür ve nihayet başlangıç değerine erişir. Denge durumuna dönmek için geçen zamana **spin-şebeke rölaksasyon (gevşeme) zamanı** (T₁) denir. İnsan dokularının cinsine göre T₁ 300 ile 3000

milisaniye arasında değişir. Manyetik momentin yatay eksen üzerindeki izdüşümünün denge haline dönme zamanına **spin-spin röleksasyon (gevşeme) zamanı** (T_2) denir. T_2 dokunun cinsine göre 30-150 milisaniye arasındadır. T_1 ve T_2 'nin dokuya göre çok değişmesi sayesinde ki kesin kontrastlı NMR imajları elde edilir. Bu imajları elde etmek için yatay bileşenin amplitüd (genlik) değişmelerini izlemek gerekir. Yatay dönen mıknatıs anten görevi yapan küçük bir bobinde T_1 ve T_2 zamanlarında karşılık olan bir sinyal yaratır. Bu sinyale FID (free induction decay) denir. NMP spektroskopisinde FID sinyallerinin ortalaması kaydedilir. Sinyallerin frekans analizi sonucunda elde edilen spectrumda (tayf) maksimum şiddetteki frekanslar, incelenen atom çekirdeği (proton veya diğerleri) için spesifikler. 3 boyutlu bir imaj için birbirine dik 3 eksenle manyetik alan şiddeti değiştirilir.

Bugün NMR imajları dokulardaki 0.5 mm.'lik bir tümörü bile gösterebilecek güçtedir. 1974'de Zürich Politeknik Okulundan A.Kumar, D.Welti ve R.R. Ernst tarafından geliştirilen bir yöntemle vücuda birbirine dik iki manyetik alan uygulanır. Zaman içinde eşit aralıklı n nokta alınarak o kesitteki atom çekirdeklerinden alınan n rezonans sinyali kaydedilir. n sıra ve n kolonlu bir matris oluşturulur, bilgisayar bu matrisin iki boyutlu Fourier transformasyonlarını alarak imaj oluşturur. Bu amaçla vücudun belli bir kesitinden 300-2000 ms'de 200-300 ölçme yapılır.

Ede edilen NMR sinyallerinin amplitüdü o kesitteki H çekirdeklerinin sayısı ile doğru orantılıdır. Suda ve yağda fazla H bulunduğundan su ve yağ fazla içeren dokularla diğer dokuların sınırını kolayca ayırdedilir.

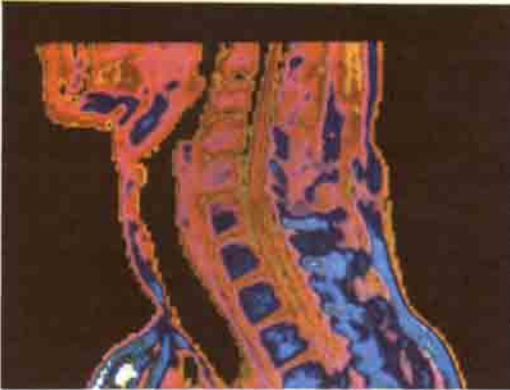
NMR'da çok güçlü bir manyetik alan yaratmak gereklidir. Bunun için 100 ton kadar mıknatıs gerektiğinden, bir bobinden elektrik geçirerek bobinin ortasındaki demiri mıknatıslamak yoluna gidilmektedir. Bu yöntemle 0.25 Tesla gücünde manyetik alan elde edilebilir. 1.5-2 Tesla'ya erişen man-

yetik alanlar için -269°C'da sıvı azot veya helium ile soğutulan süper iletken bobinler gerekir. Atom çekirdekleri radyo dalgaları veren bir verici anten ile uyanır, H çekirdeklerinden gelen zayıf sinyaller bir alıcı antenle alınarak bir amplifikatöre bağlanır ve 100.000 kere büyütülür. Eskiden yalnız baş veya tüm vücudun NMR imajlarını veren antenler yapılırken, bugün göz, kulak, meme, omurilik, eklem vb. için özel antenler yapılmıştır. NMR cihazı bilgisayarlarla çalışır, Bir TV ekranında beliren imajlar derhal bilgisayarın hafızasına alınarak yeniden oluşturulur. İmajlar manyetik band veya optik nümerik disklere kaydedilir. NMR çekilen oda bir Faraday kafesi ile parazit radyo dalgalarından korunur.

NMR'da röntgen, gama vb. ışınların tehlikesi yoktur, çünkü NMR iyonlaştırıcı ışın yaratmaz. Kullanılan en çok 2 Tesla gücündeki kuvvetli manyetik alanların insana zararı yoktur. Manyetik alanın hızlı değişmeleri gözde ışık hissi yaratabilir (Arsonval olayı), fakat NMR'daki alan değişmeleri bu derece hızlı değildir. Kullanılan radyo dalgalarının vücutu ısıtması önlenemez, fakat bunlar vücut ısısı 1°C'yi geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır. Metal protezleri veya kalp pilleri olan hastalarda NMR yapılmamalıdır. Bunun dışında NMR tamamen zararsız bir yöntemdir. Röntgenden farklı olarak defalarca tekrarlanmasının da tehlikesi yoktur.

NMR ile elde edilen imajlar dünyada 5 yıldır kullanılmaktadır. NMR ile alınan resimler bilgisayarlı tomografi (B.T.) ile elde edilenlerden çok daha nettir. Ayrıca NMR damara opak madde (röntgende gözükmez madde) vermeyi gerektirmez. NMR ile BT'nin rezolüsyon (iki noktayı ayırtma) güçleri ayırdır, fakat NMR ile elde edilen resimlerde yapay görüntüler (artefact) yoktur, yani NMR'nin hata payı daha azdır.

NMR'ın teşhis amacıyla kullanıldığı başlıca yerler; beyin, omurilik, kalp, kulak-boğaz-burun, sinir, kemik, kırık, bağ (ligament), eklem, kas ve meme hastalıklarıdır. NMR hiç kuşkusuz yarının en güçlü teşhis cihazıdır. □



NÜKLEER MANYETİK REZONANS (NMR) İLE ALINMIŞ BOYUN RESMİ

NMR özellikle kemik bir kutu içindeki yumuşak doku lezyonlarını iyi göstermektedir, bu nedenle beyin ve omurilik lezyonlarını çok iyi gösterir. Bu resimde omurilikte içi su dolu bir kist görülüyor (siringomyeli).

HAYVANLARDA OYUN

Her sabah saat tam 10'da küçük çocuklar bir meydana toplanarak yaşlı Anna Vasilyevna'nın görünmesini beklerlerdi. Sabah yürüyüşüne çıkan Vasilyevna'nın yanında hep bembeyaz erke kedisi Puşok ve siyah küçük köpeği Barsik olurdu. Puşok kendinden emin, kimseye metelik vermeden meydana dolaşır. Kedi çayıra oturur, kuyruğunu kendi etrafına dolar ve oyuna başlardı. Oyun şöyleydi: Kedinin bakmadığı bir anda köpek ona "saldırır", tabii hep şakacıktan. Birgün Barsik, Puşok'a gerçekten saldırmak istedi, onun üstüne sıçradı, fakat daha havada iken kedinin kocaman, öfkeli zümrüt yeşilli gözleriyle karşılaştı ve ne olur ne olmaz diye kedinin üzerine değil de yanına atladı. Oyun hemen bitti, ikisi de çok ileri gittiklerini anlamışlardı. Kedilerle köpeklerin birlikte oynamaları çok nadirdir. Ancak yavru iken birlikte oynamış olan kedi ve köpekler ilerde de arkadaşlıklarını devam ettirirler. Aynı türden olan hayvanların her yaşta olanları, değişik türden olanların ise ancak yavruları birbirleriyle oynarlar. Hayvanat bahçelerinde ayı ve keçi, kaplan ve yaban domuzu yavrularının birlikte oynadıkları çok görülür.

Rus biyoloğu A.Çerkasov birgün Trans-Baykal ormanlarında (Tayga) dolaşırken, gitar sesini andırان bir ses duydu. Şeşin kaynağını araştırınca hayretten içinde kaldı: Büyük bir

ÖDÜLLÜ SORULAR

MATEMATİK:

1. Birbirlerine dik iki doğru, bir üçgenin her bir kenarını aynı kenarın orta noktasına göre simetrik noktalarda keserse, bu doğruların, üçgenin kenarlarının ortanoktalarından geçen çember üzerinde kesiştiklerini gösteriniz.

$$\begin{aligned} 2. \text{ tan } x_1 + \cot x_1 &= 3 \tan x_2 \\ \text{ tan } x_2 + \cot x_2 &= 3 \tan x_3 \\ \text{ tan } x_n + \cot x_n &= 3 \tan x_1 \end{aligned}$$

sistemini çözünüz.

FİZİK:

1. Herbirinin alanı A olan iki iletken levha birbirlerine paralel durumda tutuluyor. Levhalar arasındaki mesafe d olup, V voltluk sabit bir gerilim kaynağının iki ucu levhalara bağlanmış durumdadır. Bu levhaları, aralarındaki mesafe 2d olana kadar birbirinden ayırıyoruz. Bu ayırma sırasında kim ne kadar iş yapmıştır?

2. Su damlalarının kırmızı ışığa göre kırılma indisi 1.46 olarak veriliyor. Bu damlaların oluşturduğu bir gökkuşağının kırmızı kenarı, güneşe göre kaç dereceye kadar görünür?

Ocak sayımızdaki soruların yanıtları ve ödül kazanan okuyucularımızın adları 39. sayfamızdadır.

dişi ayı ile iki yavrusu devrilmiş bir çamın yanında oturuyorlardı, ana ayı çamın gövdesindeki uzunca bir kıymığı, gitar teli gibi çekerek ses çıkarıyor ve üçü bu müziği zevkle dinliyorlardı.

Amerikan biyologları Fransa'nın Camargue bölgesindeki yabancı ineklerle bir süre birlikte yaşadılar. Evcil inekler çok az oynarlar. Yabancı inek sürülerinin danaları ise sevinç çığlıklarını atarak birbirini kovalar, kuyruğunu yakalamaya çalışarak döner, yere yatıp yuvarlanır ve birbirlerine tos vururlar. Yavrularını izleyen yetişkinler de koşmaya, sıçramaya ve tekme atmaya başlayarak yerden büyük toz bulutları kaldırır.

Jibon tipi maymunların hoşlandıkları oyun ağaçları vardır. Saatlerce daldan dala atlayarak oynarlar. Yavru maymunların afacanlılığı bazen öyle ileri gider ki, oyun kavga haline alır, yavruların çığlıklarını duyan yetişkin erkeklerden biri gelerek yavrulara birer tokat atar ve oyunu sona erdirir. Şebek maymunların yavrularını ise oyun oynarken kasten kavga çıkarırlar, amaçları sürünün liderinin gelmesini ve hakemlik etmesini sağlamaktır. Şempanze ve goriller insan gibi oynarlar. Moskova hayvanat bahçesindeki şempanzelerden biri, kafesine bırakılan renkli kumaşları beline sarıyor, eski çorapları ise eline, ayağına veya kafasına geçirerek oyun oynuyordu. Maymunlara oyuncak vermek şarttır, yoksa kendilerine başka eğlence arayabilirler ve bu zararlı olabilir. Örneğin parmaklığa yakın masum masum oturur ve ziyaretçileri dost bakışlarla seyrederek. Fakat buna kanıp da yaklaşan birinin üstüne talaş tozu atarlar ve bu zaferlerini dans ederek kutlarlar.

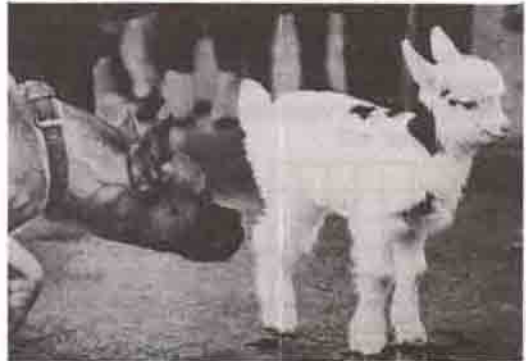
Prag hayvanat bahçesi müdürü Z.Veselovski, hörgüçlü yaban öküzleri (bizon) için en iyi oyuncağın kütük olduğunu yazmaktadır, bizon saatlerce kütüğe boynuzları ile vurarak eğlenir ve çiftleri rahat bırakır.

Hayvanat bahçesindeki hayvanlar doğadaki serbest hayvanlar gibi koşup oynayamaz. Onlara oyun olanağı sağlanmazsa, hareketsizlikten beyinleri ve iç salgı bezleri çalışmaz olur, hayvan stres altında kalır. Bazen aslan ve leoparların bir kafesten diğerine nakledilirken sinirsel şoktan öldüğü görülmüştür. Böylece oyunun, hayvanların yalnız kaslarının değil, sinir sistemlerinin gelişmesi için de gerekli olduğu anlaşılmaktadır.

Fakat oyunların çoğunda asıl amaç eğlenmektir. Örneğin toynaklı hayvanların çoğu dansetmeye bayılır. Afrika antilopları savanalarındaki ağaçların etrafında halka olup dans ederler, diğer antiloplar bir süre onları seyrettikten sonra dansa katılır. İmpala'ların (bir cins Afrika antilopu) yalnız erkekleri, başlarını ve kuyruklarını dimdik tutarak ve meleyerek dişilerin etrafında halka olup dans eder, dişiler, merkezde başları öne eğik olarak töreni izler.

Afrika'da yavru fillerin alüvyon ve otları yaptıkları kocaman topraklarla futbol oynadıkları görülmüştür. Irilili ufaklı birçok hayvan top oynamayı sever. Su samurları denizde birbirlerine yosun yumakları atarak top oynar. Yabancı domuzları karpuz tarlasına girip doyasıya karpuz yedikten sonra, harap olmuş tarlada kalan karpuzlarla top oynamaya başlarlar. Kır fareleri bile güneşli çayırda koşuşup dururken havaya toprak parçaları ve kuru yapraklar atarak oynarlar.

Bir yamaçtan aşağı kaymak, birçok vahşi hayvanın çok sevdiği bir oyundur. Su samuru ırmağa bakan dik ve killi bir yamaç seçer, burada taşları ve dalları temizleyerek kendine



bir kayma yolu oluşturur. Peşpeşe birçok su samuru ırmağın çıkarak hazırlanan yoldan yukarı tırmanır ve bu sırada karnları ve kuyrukları ile killi yolu cilalar, kayganlaştırırlar. Sonra tepeden hızla kayarak cup diye ırmağa dalar ve bunu birçok kez tekrarlarlar. Kışın da aynı yolda buz üzerinde kayarlar. Su samurları yavrularına da kaymayı öğretirler.

Alp keçileri (şamua) bacaklarını içeri çekerek sürü halinde peşpeşe karlı yamaçlardan aşağı kayarlar. Tien-Shan kar leoparı da çok dik yamaçlardan aşağı sırtüstü yatarak kaymaya bayılır.

Hayvanların oyunlarını seyretmek insanlar için en büyük zevklerden biridir.