

Principle and Clinical Application of Diffusion weight Imaging - Magnetic Resonance Imaging

Joo-Ho Kim^{1,2}, Young-Seok Ji^{1,3}, and Man-Seok Han^{1,4*}

¹Department of Health Medical Science, Graduate School, Kangwon National University, Samcheok 25949, Korea

²Department of Radiology, Inje University Sanggye Paik Hosipital, Seoul 01757, Korea

³Department of Radiology, Seoul National University Bundang Hosipital, Seongnam 13620, Korea

⁴Department of Radiological Science, Kangwon National University, Samcheok 25949, Korea

(Received 30 January 2024, Received in final form 26 February 2024, Accepted 26 February 2024)

Diffusion MR Image (DWI) detects lesions Non-invasively quantifies the characteristics of body tissues changed by Obtain and analyze the values and image them to determine the diagnosis of the lesion. It is used clinically because it can be expressed clearly. DWI and Apparent Diffusion Coefficient (ADC) techniques .Unlike T2 Weighted Image (T2W), it takes several hours to Infarction signal appears internally, supporting acute infarction diagnosis. Recently, when examining not only brain but also liver tumors, Malignant solid tumors and benign, cystic tumors can be distinguished through the appropriate b-value value. It is widely used for sheep identification. Accordingly, we would like to introduce the clinical use and future direction of diffusion magnetic resonance imaging currently being used.

Keywords : diffusion MR image (DWI), apparent diffusion coefficient (ADC), clinical use, T2 weighted image

확산강조영상의 원리 및 임상적용 - 자기공명영상

김주호^{1,2} · 지영석^{1,3} · 한만석^{1,4*}

¹강원대학교 대학원 휴먼헬스융합학과, 강원 삼척시, 25949

²인제대학교 상계백병원 영상의학과, 서울 노원구, 01757

³분당서울대학교병원 영상의학과, 경기 성남시, 13620

⁴강원대학교 방사선학과, 강원 삼척시, 25949

(2024년 1월 30일 받음, 2024년 2월 26일 최종수정본 받음, 2024년 2월 26일 게재확정)

확산자기공명영상(Diffusion MR Image: DWI)은 병변에 의해 변화된 체내 조직의 특성을 비침습적으로 정량적인 값을 얻어 분석하여 영상화하여 병변의 확진에 정확히 표현하기에 임상에서 사용하고 있다 확산자기공명영상(Diffusion MR Image: DWI)와 현성 확산 계수(Apparent Diffusion Coefficient: ADC) 기법은 T2 강조영상(T2 Weighted Image: T2W)과 달리 수 시간 내로 경색(Infarction) 신호가 나타나 급성경색(Acute Infarction) 진단에 매우 유용하다 최근 뇌뿐만 아니라 간 종양 검사 시 적절한 확산경사자장(b-value) 값을 통해 악성 고형성 종양과 양성, 양성 종양의 감별에 널리 이용하고 있다. 이에 현재 활용되고 있는 확산자기공명영상의 원리와 임상적 이용에 관해 소개하고자 한다.

주제어 : 확산자기공명영상, 확산 계수, 임상적이용, T2강조영상

I. 서 론

뇌졸중은 뇌혈관에 문제가 발생해 뇌경색이나 뇌출혈에 의해 갑자기 사망에 이를 수 있는 질병이며 심각한 뇌 손상을 입혀 신체적, 정신적 장애를 초래하는 질병이다. 지금까지는 주로 50대 이상의 연령대에서 발생하는 고혈압으로 인한 뇌출혈의 빈도가 가장 높았으나, 최근에는 노령인구의 증가 및 식생활의 서구화로 뇌졸중의 주요 원인인 고혈압, 비만, 당뇨병 환자까지 늘어나면서 뇌경색(허혈성뇌졸중)의 빈도가 크게 증가하는 추세이다. 특히 사회적으로 팽배한 경쟁분위기와 맞물려 30~40대에서도 과로와 정신적 스트레스 때문에 과도한 흡연과 음주를 하고 건강을 돌볼 시간이 없어 발생률이 높아지고 있다.

이러한 증상이 발생할 경우 진단적으로 장비로는 일반적으로 전산화단층촬영(computed tomography, CT)이나 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)기기를 이용하여 진단을 하게 된다[1]. 확산강조영상은 도입된 이래 지금까지 주로 뇌경색의 조기 진단에 적용되어 왔고, 통상적인 자기공명영상에서 경색 후 적어도 며칠이 걸려야 정보를 제공하였지만, 확산강조영상에서는 그 보다 빠른 초급성 시기에 판별이 가능하여 뇌 병변에 대한 진단을 확인하는 것으로 알려져 있다[2].

확산자기공명영상(Diffusion MR Image: DWI)의 기초 이론과 현재 임상 적용과 앞으로의 방향에 대해 알아보려고 한다.

II. 확산강조영상의 기초 이론

확산강조영상(Diffusion Weighted imag: DWI)은 조직 내 물분자의 확산운동에 의한 영상 신호 감소를 영상화하는 방법으로 비침습적으로 정량적인 값을 얻어 영상화한다[3].

일반적으로 확산이란 용액내의 용매분자가 농도 경사에 의해 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하는 현상이다. 즉 잉크 방울을 물이 가득 채워진 컵 속에 떨어뜨렸을 때 퍼져 나가는 현상과 같은 것이다. 농도 경사가 없는 순수한 물에서도 물분자 자체가 가진 역학적 에너지에 의해 불규칙하게 움직이게 되는데, 이런 현상을 브라운운동(brownian motion)이라 하며, 이를 물의 자기확산(self-diffusion)이라 한다[4-6].

확산 강조영상을 간단히 정의하면 MR기계를 이용하여 인체내 물분자들의 자기확산(self-diffusion) 정도를 영상화한 것이라 할 수 있다.

이런 검사를 인체 또는 살아있는 물체에 적용할 때 영상화 중 발생하는 피영상체의 움직임 특히 호흡에 의한 움직임이나 뇌척수의 펄스적 운동등에 의한 거시적인 운동으로 인하여 에코평면영상(Echo Planar Imaging: EPI) 기법을 사용하지 않을 경우에는 움직임에 의한 영상의 인공물(artifact)이 심

하게 나타날 수 있다. 따라서 최근에는 확산 강조영상을 얻기 위해서 에코평면영상(Echo Planar Imaging: EPI) 기법을 이용하고 있는 실정이다[7].

어떤 조직의 현성 확산 계수(ADC)를 알아내려면 최소한 두번이상 각각 다른 확산경사자장(b-value)을 적용하여 신호를 얻은 후, 신호강도 대 b 값(value)의 관계에서 얻은 직선의 기울기로 구할 수 있다.

현성확산계수지도(ADC map)는 T1, T2 및 양성자 밀도 효과가 모두 배제되고 오로지 어떤 조직내에 있는 물분자의 확산 정도에 의해서 영상대조도가 결정되는 특징이 있다. 따라서 확산 계수가 높은 뇌척수액이나 낭종은 고신호강도로 보이고, 확산 계수가 낮은 부분은 저신호강도로 보인다. 확산 강조영상(DWI)과 현성확산계수지도(ADC map)는 모두 확산강조 경사자계를 걸어준 방향에 따라서 달라지는 이방성(anisotropy) 효과를 나타내므로 X, Y, Z 세 방향으로 모두 확산강조영상을 얻은 후 이를 평균하면 이방성(anisotropy) 효과를 최소화하여, 확산 추적(trace)영상(diffusion trace map)을 만들 수 있다.

물에 잉크방울을 떨어뜨리면 잉크가 퍼져 나가는 것을 관찰할 수 있다. 이것은 분자들의 열운동에 의해 무작위로 퍼져 나가기 때문에 발생하는 현상이다. 이처럼 분자들이 열적 무작위 운동으로 용매 안에서 퍼져나가는 현상을 확산이라 한다. 1885년 Adolf Fric은 실험적인 사실로부터 분자의 확산을 다음과 같은 방정식으로 기술됨을 밝혔다.

$$\vec{J} = -D \nabla C$$

여기서 $\vec{J}$ 는 분자의 유량(flux), C = 분자의 농도, D = 확산 텐서계수식에서 알 수 있듯이 분자의 유량(flux)는 농도의 경사에 비례하며 동일한 농도경사에 대해 확산계수가 크면 그 흐름 또한 커짐을 알 수 있다. 인체 내 조직에서 물분자의 확산운동을 살펴보면 정상조직과 이상조직에서의 물분자의 확산운동을 설명하는 그림이다. 조직에서 물분자의 확산은 세포 외 확산과 세포 내 확산으로 구분할 수 있다. 세포 내 확산은 세포구조에 의해 제한적인 반면에 세포 외 확산은 비교적 자유롭게 확산운동을 한다.

정상조직에서 물분자의 확산으로 정상조직에서는 세포 바깥 공간이 넓어서 세포에서 확산운동이 활발해져 확산계수가 커진다. 반면 세포막의 이상으로 인해 물분자가 세포안으로 흡수되어 조직내 물분자의 확산이 제한을 받는다(Fig. 1). 따라서 확산계수도 작아진다.

뇌졸중 초기에 혈액공급이 잘 되지 않기 시작하는 조직에서는 물분자의 확산운동에서는 변화를 보이는 반면 조직의 구조적인 변화는 아직 진행되지 않는다. 이 때 조직의 이상여부를 관찰하기 위해 획득한 T1 또는 T2 강조영상에서는 특별

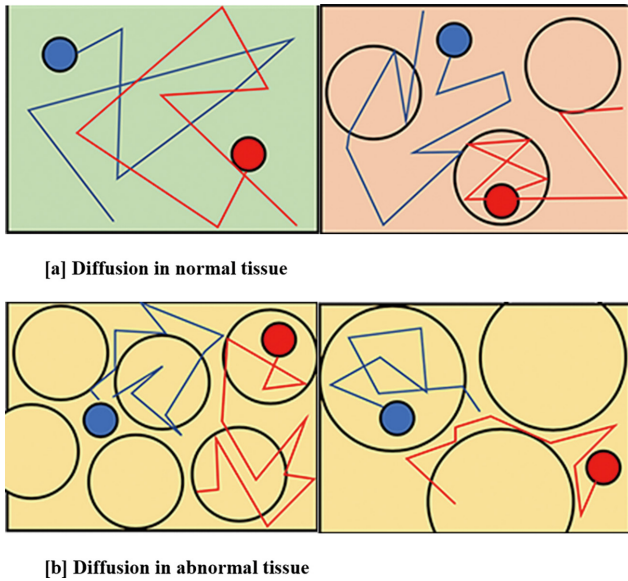


Fig. 1. (Color online) Tissue diffusion.

한 이상을 발견할 수 없지만 확산강조 영상을 통해서도 이상 부위가 확연히 관찰된다(Fig. 2).

확산강조영상은 조직내 물 분자의 확산운동(고→저)에 의한 영상신호 감소를 영상화한 결과이며, 확산의 이러한 특성 때문에 확산강조영상은 급성허혈(acute ischemia)과 만성뇌경색(chronic infarction)을 구분하고 뇌졸중의 진행단계와 치유과정을 관측하는데 널리 이용되고 있다[8].

III. 임상적용

1. 허혈성 뇌경색(Ischemic Stroke)

기존의 T2 강조 영상이 정상소견을 보이는 뇌경색의 초급

성 시기에 확산 강조영상이 허혈성 병변을 나타낸다는 사실은 동물 실험 모델뿐 아니라[9,10] 임상에서도 이미 잘 알려진 사실이다[11-13] 확산 강조영상의 장점은 허혈성 병변을 초기에 발견할 수 있고 뚜렷이 윤곽을 보여줄 수 있다는 것 외에도 급성병변과 만성병변을 구분할 수 있다는 것이다. 뇌경색 발현 후 72시간이 지나면 확산 강조영상이 T2 강조 영상에 비해 더 이점이 없다는 보고가 있었다[14]. 국내에서도 최근 확산 강조영상이 도입되어 임상에서 많이 이용되고 있고, 저자들의 경험에 의하면 비단급성기 뿐 아니라 아급성기 심지어 만성기에도 확산 강조영상이 다양한 도움을 주고 있다고 한다. 확산강조영상과 T2 강조영상을 동시에 시행한 뇌경색 환자들에게서 초급성기에서 만성기에 이르는 다양한 시기에 확산 강조영상이 어떠한 유용성을 보이는지 평가하였는데 확산 강조영상에서 T2 강조영상에서 보이지 않는 허혈성병변을 보인 경우, T2 강조영상에서 보이는 병변보다 더 크거나 더 많은 병변을 보인 경우, 급성과 만성 뇌경색을 구분할 수 있었던 경우에 확산강조영상이 T2 강조영상에 비해 우월하다고 판정하였다[15]. 전체적으로 49%의 환자에서 확산강조영상이 T2 강조영상에 비해 급성 병변을 더 잘 보여 주었고, 경색 시기에 따라서는 초급성기 환자는 100%, 급성기 환자는 55%, 아급성기 환자는 41%, 만성기는 36%로, 뇌졸중 발현 증상 후 빠른 시간내에 확산강조영상을 시행할수록 유용성은 더 증가하였다고 보고하였다[15].

2. 종양(Tumor)

Fig. 3은 농양성 종양과 괴저성 종양의 영상이다. 기존에 T1WI에서는 유사한 신호로 인해 농양성과 괴저성의 감별이 어려웠다. 확산강조영상(Diffusion Weighted imag: DWI)을 통해 괴사성종양(Necrotic Tumor)의 벽 두께(Wall Thickness)가 농

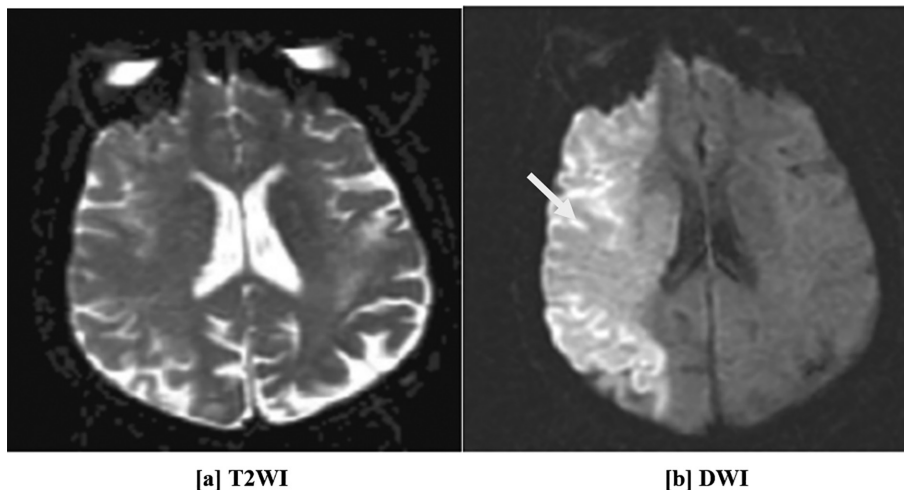


Fig. 2. Comparison of acute infarction.

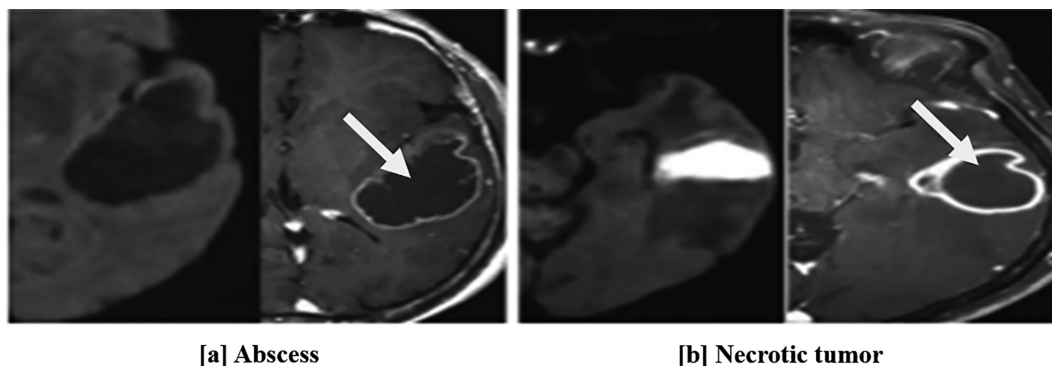
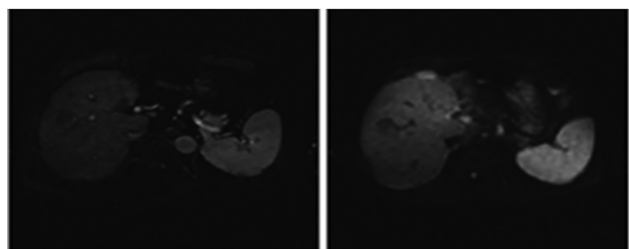


Fig. 3. Difference of abscess tumor wall thickness and necrotic tumor wall thickness.

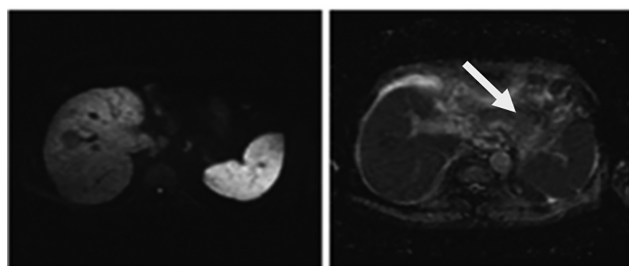
양 종양(Abscess Tumor)의 벽(Wall)보다 두껍다는 점을 알 수 있다[16].

3. 간세포암(HCC)

간(Liver)은 뇌(Brain)와 다른 확산자기경사(b-value)를 가지게 된다. 대표적으로 Fig. 4의 간세포암(Hepatocellular Carcinoma) 영상에서 암종(Carcinoma)의 위치를 보면 T1 영상에서 보다 확산경사자장(b-value)이 인가된 영상과 ADC 영상이 두드러지게 보이는 것을 알 수 있으며, 뇌에 인 가하는 900 이상 확산경사자장(b-value)를 인가한 영상과 100~150의 확산경사자장(b-value)를 인가한 영상을 비교하면 낮은 확산경사자장을 인가한 영상이 종양의 위치와 형태가 잘 나타나 있는 것을 확인할 수 있다[16].



[a] T1 Dynamic artery phase image [b] b-value 100~150



[c] b-value > 900

[d] ADC Image

Fig. 4. Hepatocellular carcinoma.

4. 일과성 건망증(Transient Global Amnesia: TGA)

과도현상(Transient) 질환은 뇌(Brain) 영상으로 높은 확산경사자장(b-value)이 요구된다. 그러나 Fig. 5의 일시적 전역 기억상실증(Transient Global Amnesia)영상을 보면 슬라이스 두께(Slice thickness)와 확산경사자장(b-value)에 따라 병변 부위의 신호가 다른 것을 확인할 수 있다, 슬라이스두께(Slice Thickness)가 5 mm, 확산경사자장(b-value)이 100인 경우와 슬라이스두께(Slice Thickness) 3 mm, 확산경사자장(b-value)이 200인 경우를 비교하였을 때, 절편 두께가 얇은 영상이 고신호로 병변의 위치가 뚜렷하게 관찰되었다. 또한 동일한 절편 두께(3 mm)를 고정하고 확산경사자장(b-value) 1000 값인 영상과 200인 영상을 비교하였을 때 확산경사자장(b-value) 1000인 값의 병변의 신호가 더 높게 나타났다(Fig. 5). 슬라이스두께(Slice Thickness)가 얇고 확산경사자장(b-value)이 낮을 수록 일과성건망증(Transient Global Amnesia) 진단에 유용하다는 것을 알 수 있다[16]. 일과성건망증(Transient Global Amnesia) 환자의 경우 확산강조영상의 b-1000을 획득한 ADC 영상값이 진단하는데 도움이 되며 b 값이 0에 가까우면 T2 강조영상에 가깝게 되기 때문에 구별하기가 어렵다. 병변을 진단하기 위해서는 b-1000에 가까운 ADC 영상값을 이용하는 것이 진단에 도움이 된다.

IV. 결 론

뇌경색증이 발생한 후 뇌를 검사하기 위한 목적으로 DWI를 가장 많이 이용한다. 뇌졸중 초기, 허혈이 발생한 직후지만 아직 경색이나 영구적인 조직 손상은 일어나기 전 시기에 세포는 부어오르고 세포 외 공간에서 수분을 흡수한다. 그러면 확산강조영상에서 밝게 보이므로 경색이 일어난 지 몇 분 내에 이런 변화를 볼 수 있다.

확산강조영상(Diffusion Weighted imag: DWI)은 몇몇 연구

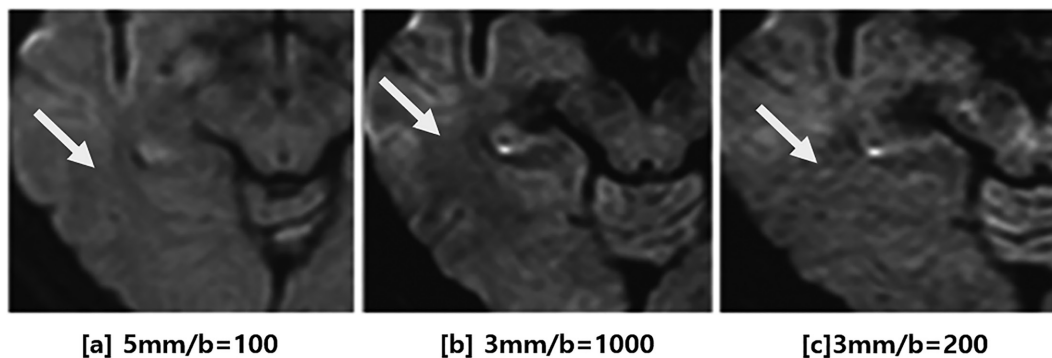


Fig. 5. Transient global amnesia.

를 통해 다른영역과 병변도 확인할 수 있었고 그 결과 다음과 같이 이용할 수 있다. 간세포암, 전이, 혈관종과 같은 병변 간의 특성구별, 점액분비성 췌장암과 다른종양의 구별, 병리적인 골절과 외상성 골절 구별, 병리적인 골절과 외상성 골절 구별, 뼈의 타박 정도 평가 등 여러 분야에 적용하고 있으며, 앞으로도 많은 분야에 적용되어질거라 사료된다.

References

- [1] Hacke et al., AHA/ASA Journals Stroke **39**, 1621 (2008).
- [2] Matsui et al., PLOS ONE Journals **8**(8), e69409 (2013).
- [3] de Baere et al., Journal of RSNA/Radiology **185**(3), 1438746 (1992).
- [4] J Mintorovitch, M. E. Moseley, L. Chileuitt, H. Shimizu, Y. Cohen, and P. R. Weinstein, Magn. Reson. Med. **18**, 39 (1991).
- [5] M. E. Moseley, Y. Cohen, J. Kucharczyk, J. Mintorovitch, H. S. Asgari, M. F. Wendland, J. Tsuruda, and D. Norman, Radiology **176**, 139 (1990).
- [6] T. L. Chenevert, J. A. Brunberg, and J. G. Pipe, Radiology **177**, 401 (1990).
- [7] R. R. Edelman, P. Wielopolski, and F. Schinitt, Echo-planar MR imaging. Radiology **192**, 600 (1994).
- [8] M. S. Han, C. G. Kim, et al., TEXT BOOK of MRI Chung-Ku Publisher 360-363.
- [9] R Turner, D. L. Bihan, J. Maier, R. Vavrek, L. K. Hedges, and J. Pekar, Radiology **177**, 407 (1990).
- [10] M. E. Moseley, Y. Cohen, J. Mintorovitch, L. Chileuitt, H. Shimizu, J. Kucharczyk, M. F. Wendland, and P. R. Weinstein, Magn. Reson. Med. **14**(2), 330 (1990).
- [11] M. P. Marks, A. de Crespigny, D. Lentz, D. R. Enzmann, G. W. Albers, and M. E. Moseley, Radiology **199**, 403 (1996).
- [12] S. Warach, J. F. Dashe, and R. R. Edelman, J. Cereb Blood Flow Metab. **16**, 53 (1996).
- [13] S. Warach, J. Gaa, B. Siewert, P. Wielopolski, and R. R. Edelman, Ann. Neurol. **37**, 231 (1995).
- [14] H. L. Lutsep, G. W. Albers, A. de Crespigny, G. N. Kamat, M. P. Marks, and M. E. Moseley, Ann. Neurol. **41**, 574 (1997).
- [15] D. W. Kang, Y. S. Lee, I. C. Song, H. J. Bae, J. S. Koo, B. W. Yoon, K. H. Chang, and J. K. Roh, Korean Journal of Stroke **1**(1), 65 (1999).
- [16] E. H. Goo, Journal of Radiation Industry **16**(4), 529 (2022).